

М 1343

МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ КОМПЬЮТЕРНОГО ИНЖИНИРИНГА

---

Кафедра «Компьютерные системы»

ДЖУРАЕВ Р.Х.  
БОТИРОВ С.Р.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИМУЛЯЦИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Учебное пособие  
для выполнения индивидуального проекта

Ташкент  
2022

**UDK: 004.77 (075.8)**

**Авторы: Джураев Р.Х., Ботиров С.Р. «Моделирование и симуляция компьютерных сетей: Учебное пособие для выполнения индивидуального проекта» – Ташкент 2022, ТУИТ, 115 с.**

В учебном пособии предоставлена последовательность выполнения индивидуального проекта, направленная на закрепление теоретических знаний полученных во время лекционных занятий и развитии практических навыков. В процессе выполнения индивидуального проекта, студентом производится сверка аналитического, имитационного и программного методов моделирования работы сетевого оборудования.

Настоящее учебное пособие к индивидуальному проектированию предназначены для студентов бакалавра 3 курса по специальности 60610500 – Компьютерный инжиниринг (Компьютерный инжиниринг). Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Рассмотрен и одобрен на заседании Совета Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

2022 год “ 29 ” ноября, протокол № 4(161)

Рецензенты:

Нурафшанский филиал ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий

Заместитель директора

по научной работе и инновациям, PhD

С.О. Махмудов

ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий

Заведующий кафедрой

«Телекоммуникационный инжиниринг», PhD

М.Б. Абдужаппарова

© Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, 2022 год.

## ВВЕДЕНИЕ

Математическое моделирование является мощным и эффективным инструментом исследования разнообразных объектов, систем и процессов в различных областях человеческой деятельности. Многообразие процессов, протекающих в исследуемых системах и объектах, обуславливает и многообразие математических методов и средств, используемых в теории моделирования. Моделирование – сложный многоступенчатый процесс исследования систем, направленный на выявление свойств и закономерностей, присущих исследуемым системам, с целью их создания или модернизации. В процессе моделирования решается множество взаимосвязанных задач, основными среди которых являются разработка модели, анализ свойств и выработка рекомендаций по модернизации существующей или проектированию новой системы.

Большинство технических систем, в том числе вычислительные системы и сети, описываются в терминах дискретных случайных процессов с использованием вероятностных методов. При этом широкое применение находят математические модели, отражающие структурно-функциональную организацию исследуемых систем, построенные на основе моделей теории массового обслуживания, анализ которых может проводиться аналитическими, численными и статистическими методами. В качестве аналитических методов используются вероятностные методы теории массового обслуживания, в качестве численных – методы теории Марковских случайных процессов, в качестве статистических – методы имитационного моделирования. При изложении аналитических методов расчёта автор, помня знаменитое высказывание, что «всякое уравнение длиной более двух дюймов, скорее всего, неверно», сознательно стремился использовать сравнительно простые математические зависимости, позволяющие рассчитывать, в первую очередь, основные характеристики функционирования систем, такие как нагрузку, загрузку и средние значения вероятностно-временных характеристик исследуемой системы.

## 1. 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  $\Delta t: t = t_n - t_{n-1}$ .

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  $\Delta t$  есть величина бесконечно малая более высокого порядка, чем  $\Delta t$ .

К основным характеристикам случайных потоков относят интенсивность потока.

### Пуассоновский (простейший) поток запросов

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

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

$$P_i(t) = \left[ (\lambda t)^i / i! \right] e^{-\lambda t}. \quad (1)$$

Если рассмотреть закон распределения вероятностей промежутка между поступлением соседних требований  $\tau$ , то можно показать, что

$$P(\tau \leq t) = 1 - P_0(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Дифференцируя, получаем плотность распределения вероятностей:

$$p(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

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

$$M\langle \tau \rangle = \bar{\tau} = \int_0^{\infty} t p(t) dt = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 / \lambda, \quad (4)$$

а дисперсия и среднеквадратическое отклонение соответственно будут равны:

$$D\langle \tau \rangle = \int_0^{\infty} t^2 p(t) dt - \bar{\tau}^2 = \int_0^{\infty} t^2 \lambda e^{-\lambda t} dt - 1 / \lambda^2 = 1 / \lambda^2, \quad (5)$$

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{D\langle \tau \rangle} = 1 / \lambda. \quad (6)$$

Коэффициент вариации равен:

$$\nu_s = \frac{\sigma}{M(\tau)} = 1. \quad (7)$$

### 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 ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ), которая в общем случае является случайной величиной. При этом под длительностью обслуживания  $\tau_k$  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:

$$B_k(t) \equiv B(t) = \Pr\{\tau_k \leq t\}, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

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

Величина  $b$ , обратная интенсивности  $\mu$  ( $b=1/\mu$ ), 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  $\mu$  (или среднее время обслуживания  $b$ ) и коэффициент вариации  $\nu_s$  длительности обслуживания. Если длительность обслуживания распределена по экспоненциальному закону, то достаточно задать интенсивность обслуживания  $\mu$  (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 (First Input, First Output — первым пришел, первым ушел);
- 2) обслуживание в обратном порядке или дисциплина LIFO (Last Input, First Output — 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  $\lambda$  (или средний интервал  $a=1/\lambda$ ) и коэффициент вариации  $v_a$  интервалов поступления;
- 2) функцию распределения  $B(t)$  длительности обслуживания (общий случай) или интенсивность обслуживания  $\mu$  (или среднее время обслуживания  $b=1/\mu$ ) и коэффициент вариации  $v_b$  времени обслуживания;
- 3) дисциплина обслуживания (ДО FIFO).

Следует отметить, что на практике СМО описывается, как правило, путем определения совокупности параметров  $\{\lambda, v_a\}$  и  $\{\mu, v_b\}$ , 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  $\lambda$  к интенсивности обслуживания  $\mu$  и обозначается через  $\rho$ :

$$\rho = \lambda/\mu = \lambda b = b/a. \quad (9)$$

где  $a=1/\lambda$  и  $b=1/\mu$  – средние значения интервалов поступления и длительности обслуживания соответственно.

Значение загрузки определяет условие существования в системе стационарного режима. Необходимым и достаточным условием существования в стохастической 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  $\omega$ .

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:

$$u = \omega + b. \quad (10)$$

5) Среднее число заявок в очереди или средняя длина очереди

$$l = \lambda \omega. \quad (11)$$

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

$$m = l + \rho = \lambda \omega + \lambda b = \lambda(\omega + b) = \lambda u \quad (12)$$

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 ( $N = 1, 2, \dots$ );  $L$  – число мест в накопителе, которое может принимать значения  $0, 1, 2, \dots$  (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);

$hk$  (hipoexponential) – гипозэкспоненциальное распределение  $k$ -го порядка (с  $k$  последовательными разными экспоненциальными фазами);

$Hr$  (Hyperexponential) – 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/E<sub>2</sub>/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.

### АлуLogic

Моделирование на сегодняшний день является самым распространённым и мощнейшим средством изучения объектов, явлений и процессов реального мира. Моделирование совершенно необходимо в случаях, когда изучать реальные объекты и процессы непосредственно затруднительно или практически невозможно и существенно упрощает и удешевляет разработку и оптимизацию сложных и дорогих систем. Одним из наиболее перспективных направлений планирования и управления производством является имитационное моделирование (ИМ), которое позволяет получить качественные и количественные оценки возможных последствий принимаемых решений. Это объясняется тем, что они могут дать инструментальную поддержку анализа функционирования предприятий в целях совершенствования производственных и управленческих процессов, скоординированной и контролируемой работы всех подсистем.

Проведение имитационного моделирования может обеспечить решение различных исследовательских задач:

- определение реального алгоритма работы той или иной системы с учётом вероятностных характеристик отдельных элементов и сигналов;
- вычисление статистических характеристик (средние, максимальные и минимальные значения, коэффициент использования);

- оптимизация структуры или параметров исследуемой системы;
- поиск сбоев и неисправностей в реальной системе и причин их возникновения.

На рисунке 3.1 показана область применения имитационного моделирования.

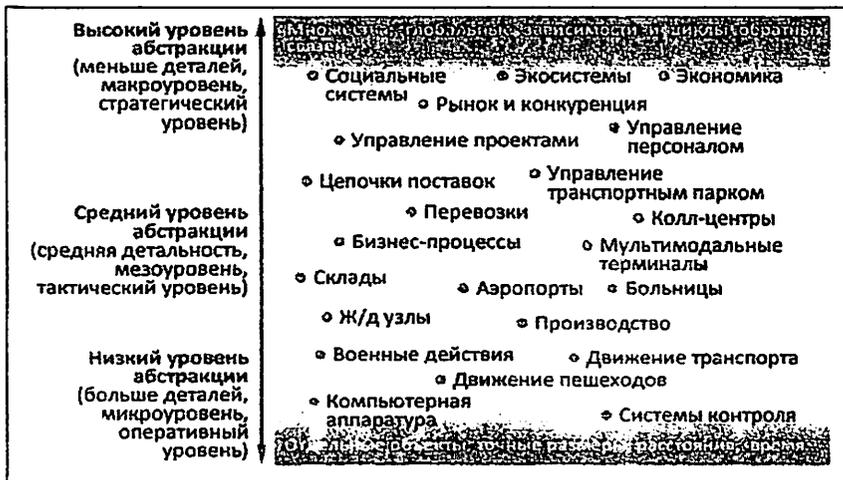


Рисунок 3.1 - Область применения имитационного моделирования.

Цель имитационного моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами. Желание ускорить процесс разработки имитационных моделей привело к созданию специализированного программного обеспечения, которое избавляет исследователя от написания программного кода. Это является перспективным направлением развития средств ИМ. Современные программные средства ИМ позволяют автоматизировать процесс создания модели за счет использования различных компонент, из которых строится модель, а также графического интерфейса. Основной проблемой при проведении ИМ, являются необходимость построения комплексных математических моделей и разработка программного кода имитационной модели.

В настоящее время предпринимаются попытки разрешения данной проблемы при помощи автоматизации построения кода имитационной модели на основании визуализации моделей и с использованием методов объектно-ориентированного проектирования. Такой подход значительно облегчает задачу построения имитационной модели и делает ее более понятной для пользователей такого моделирования. Необходимо, чтобы система имитационного моделирования включала в себя следующие возможности:

- построение имитационной модели с минимальными трудовыми и временными затратами (это реализуется за счет использования визуальных моделей деловых процессов в виде диаграмм какой-либо из распространенных нотаций);
- прогон полученной модели и проведение имитационного эксперимента;
- представление полученных результатов в удобном для анализа виде.

Очень часто решающую роль в выборе того или иного программного средства для проведения ИМ играют:

- удобство программирования;
- наличие проверенных математических методов;
- легкость представления результатов проведенного процесса моделирования.

Сложность современных организационных, информационных и технических систем делает их проектирование традиционными (ручными) методами с обязательным изготовлением макета практически невозможным.

Современные языки имитационного моделирования позволяют создавать программы небольшого объема и сложности, и не требуют больших затрат времени. Имитационные среды не требуют программирования в виде последовательности команд. Вместо написания программы пользователи составляют модель из библиотечных графических модулей, и заполняют специальные формы. Как правило, имитационная среда обеспечивает возможность визуализации процесса имитации, а также позволяет проводить сценарный анализ и поиск оптимальных решений. При сравнении имеющихся

на рынке программного обеспечения средств имитационного моделирования были выделены следующие программные продукты, имеющие наиболее широкое практическое применение:

- AnyLogic;
- Arena;
- GPSS World.

Перечисленные программные средства имеют возможность графического конструирования модели. Arena — один из наиболее эффективных инструментов имитационного моделирования, разработанный компанией Systems Modeling. Arena позволяет строить имитационные модели, проигрывать их и анализировать результаты. С помощью Arena могут быть построены модели для самых разных сфер деятельности производственных технологических операций, складского учета, банковской деятельности.

Arena предоставляет пользователю удобный графический интерфейс с набором шаблонов моделирующих конструкций. Для создания модели в пакете Arena моделирующие конструкции сначала перетаскивают в окно модели, а затем соединяют, чтобы обозначить движение объектов в моделируемой системе. Затем моделирующие конструкции детализируются с помощью диалоговых окон или встроенных таблиц. В иерархии модели может быть неограниченное число уровней. Arena обеспечивает вывод на экран двухмерной и трехмерной (Arena 3DPlayer) анимации и позволяет выводить на экран динамическую графику (гистограммы и графики временной зависимости). Данный пакет позволяет выполнять функционально стоимостной анализ при использовании ABC-метода, благодаря чему можно учитывать дополнительные и обычные затраты, а также создавать временные отчеты. Результаты моделирования сохраняются в базе данных и отображаются на экране после прогона модели в виде отчета.

GPSS World - общецелевая система моделирования, разработанная компанией Minuteman Software (США). В основном этот язык был разработан Джеффри Гордоном приблизительно в 1960 году в IBM. Программный продукт

позволяет оперативно получать достоверные результаты с наименьшими усилиями. В GPSS World хорошо проработана визуализация процесса моделирования, а также встроены элементы статистической обработки данных. Система GPSS предназначена для написания имитационных моделей систем с дискретными событиями. В системе GPSS моделируемая система представляется с помощью набора (сети) абстрактных элементов, называемых объектами.

ApyLogic - профессиональный инструмент нового поколения, который предназначен для разработки и исследования имитационных моделей. Разработчик продукта - компания "Экс Джей Текнолоджис" (XJ Technologies), г. Санкт-Петербург. ApyLogic был разработан на основе новых идей в области информационных технологий, теории параллельных взаимодействующих процессов и теории гибридных систем. Благодаря этим идеям чрезвычайно упрощается построение сложных имитационных моделей, имеется возможность использования одного инструмента при изучении различных стилей моделирования.

Программный инструмент ApyLogic основан на объектно-ориентированной концепции. Другой базовой концепцией является представление модели как набора взаимодействующих, параллельно функционирующих активностей. Активный объект в ApyLogic - это объект со своим собственным функционированием, взаимодействующий с окружением. Он может включать в себя любое количество экземпляров других активных объектов. Графическая среда моделирования поддерживает проектирование, разработку, документирование модели, выполнение компьютерных экспериментов, оптимизацию параметров относительно некоторого критерия. При разработке модели можно использовать элементы визуальной графики: диаграммы состояний (стейтчарты), сигналы, события (таймеры), порты и т.д.; синхронное и асинхронное планирование событий.

Первой версии был присвоен индекс 4 - Apylogic 4.0, так как нумерация продолжила историю версий предыдущей разработки - COVERS 3.0.

Огромный шаг вперед был сделан в 2003 году, когда был выпущен AnyLogic 5, ориентированный на бизнес-моделирование. С помощью AnyLogic стало возможным разрабатывать модели в следующих областях:

- производство;
- логистика и цепочки поставок;
- рынок и конкуренция;
- бизнес-процессы и сфера обслуживания;
- здравоохранение и фармацевтика;
- управление активами и проектами;
- телекоммуникации и информационные системы;
- социальные и экологические системы;
- пешеходная динамика;
- оборона.

Последней версией программы является AnyLogic 8.8.1. AnyLogic 8.8.1 написан на языке программирования Java в популярной среде разработки Eclipse.

AnyLogic – единственный инструмент моделирования, предлагающий полный спектр облачных технологий, что полностью меняет подход к использованию имитационных моделей:

- Используется для запуска модели любое устройство, включая телефоны и планшеты;
- Предоставление клиентам возможность онлайн-аналитики с помощью веб-интерфейса;
- Использование высокопроизводительные облачные вычисления для сложных экспериментов;
- Предоставление приватного доступ к модели, используя безопасное веб-хранилище;
- Передача моделей всем пользователям AnyLogic Cloud и работа над ними вместе.

Большой выбор экспериментов:

- Мощный набор готовых экспериментов поможет исследовать модель под разными углами;

AnyLogic предоставляет уникальную возможность использовать ГИС-карты в имитационных моделях:

- Карты могут применяться к моделям цепей поставок, логистических сетей и в других случаях, когда необходимо учитывать местоположения, дороги, маршруты или регионы;
- Встроенный поиск в стиле Google Maps позволяет легко находить города, улицы, дороги, больницы, магазины и автобусные остановки, используя данные ГИС. Поиск работает как при разработке, так и при запуске модели;
- Элементы модели могут быть размещены на карте и перемещаться по существующим дорогам и маршрутам, основываясь на реальных пространственных данных;
- AnyLogic предоставляет бесплатные ГИС-карты, с которыми можно работать онлайн и офлайн.

AnyLogic обладает рядом отраслевых библиотек:

- Библиотека моделирования процессов — для типовых производственных и бизнес-процессов;
- Библиотека моделирования потоков — для процессов транспортировки насыпных и жидких грузов в таких отраслях как горная промышленность или добыча нефти и газа;
- Железнодорожная библиотека — для железнодорожных перевозок, терминалов и сортировочных станций;
- Пешеходная библиотека — для пешеходных потоков в аэропортах, торговых центрах, на стадионах или вокзалах;
- Библиотека дорожного движения — для моделирования машин, грузовиков и автобусов на дорогах, парковках и производственных площадках;

- Библиотека производственных и транспортных систем — для моделирования процессов на заводах и в распределительных центрах.

AnyLogic обладает удобным интерфейсом функционирования моделируемой системы в динамической анимации, что позволяет оценить и проанализировать сложность системы. Визуализация процесса функционирования моделируемой системы позволяет проверить адекватность модели, выявить ошибки при задании логики.

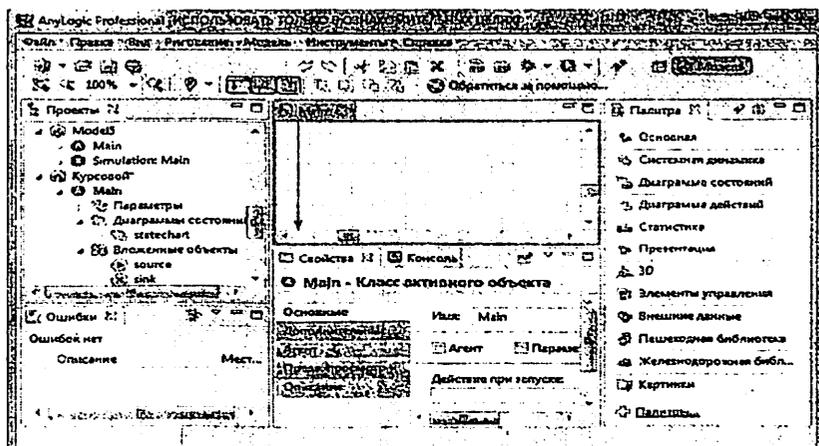


Рисунок 3.2 - Окно проекта.

После запуска AnyLogic открывается рабочее окно (Рисунок 3.2), в котором для продолжения работы надо создать новый проект. Окно проекта обеспечивает легкую навигацию по элементам проекта, таким как пакеты, классы и т.д. Проект отображается в виде дерева: сам проект образует верхний уровень дерева рабочего проекта, пакеты - следующий уровень, классы активных объектов и сообщений - следующий и т.д. Можно копировать, перемещать и удалять любые элементы дерева объектов, легко управляя рабочим проектом объектов, легко управляя рабочим проектом.

В редакторе AnyLogic для каждого выделенного элемента модели существует свое окно свойств, в котором указываются свойства (параметры) этого элемента. При выделении какого-либо элемента в окне редактора снизу

появляется окно свойств, показывающее параметры данного выделенного элемента. Окно свойств (Рисунок 3.3) содержит несколько вкладок. Каждая вкладка содержит элементы управления, такие как поля ввода, флажки, переключатели, кнопки и т.д., с помощью которых можно просматривать и изменять свойства элементов модели. Число вкладок и их внешний вид зависит от типа выбранного элемента.

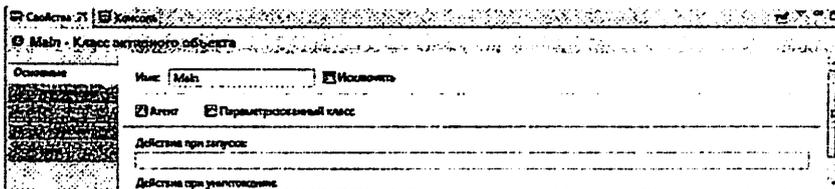


Рисунок 3.3 - Окно свойств.

Запускать и отлаживать модель можно с помощью меню Модель и панели инструментов:

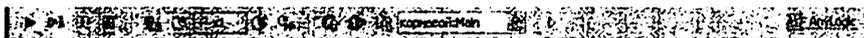


Рисунок 3.4 - Панель инструментов.

С помощью модели инструментов можно управлять имитационной моделью, запускать, ставить на паузу и останавливать динамику системы.

Окно палитры содержит элементы (графические объекты), которые могут быть добавлены на структурную диаграмму (Рисунок 3.4).

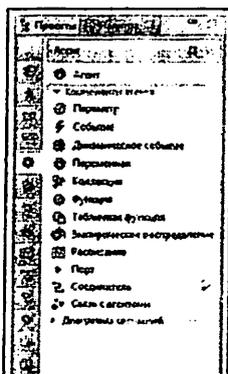


Рисунок 3.4 - Окно палитры

Таблица 3.1.

## Команды панели инструментов

Команда	Описание	Где доступна
Очистить консоль	Очищает активную в текущий момент времени консоль.	Контекстное меню и команда панели
Показать выбранную консоль	Открывает список текущих консолей. Позволяет выбрать любую из них для просмотра.	Команда панели
Открыть консоль	Открывает новую консоль выбранного типа.	Команда панели
Закрепить консоль	Закрепляет текущую консоль, так что она будет отображаться поверх всех других консолей.	Команда панели
Запретить прокрутку	Разрешает/запрещает прокрутку открытой в текущий момент консоли.	Контекстное меню и команда панели

Элементы разбиты по группам, отображаемым на разных вкладках. Чтобы добавить объект палитры на диаграмму, сначала надо щелкнуть по элементу в палитре, а затем по диаграмме. Активный объект может содержать переменные. Переменные могут быть либо внутренними, либо интерфейсными. Активный объект может иметь переменные, моделирующие, меняющиеся во времени величины. Переменные могут быть вынесены в интерфейс активного объекта и связаны с переменными других активных объектов. Тогда при изменении значения одной переменной будет немедленно меняться и значение связанной с ней зависимой переменной другого объекта. Этот механизм обеспечивает непрерывное и дискретное взаимодействие объектов.

Графическая среда моделирования AnyLogic включает в себя следующие элементы:

- Stock&FlowDiagrams (диаграмма потоков и накопителей) применяется при разработке моделей, используя метод системной динамики;
- Statecharts (карты состояний) в основном используется в агентных моделях для определения поведения агентов. Но также часто используется в дискретно-событийном моделировании, например, для симуляции машинных сбоев;
- Actioncharts используется для построения алгоритмов. Применяется в дискретно-событийном моделировании (маршрутизация звонков) и агентном моделировании (для логики решений агента);
- Processflowcharts основная конструкция, используемая для определения процессов в дискретно-событийном моделировании.

Среда моделирования также включает в себя:

- низкоуровневые конструкции моделирования (переменные, уравнения, параметры, события и т.п.);
- формы представления (линии, квадраты, овалы и т.п.);
- элементы анализа (базы данных, гистограммы, графики);
- стандартные картинки и формы экспериментов.

Среда моделирования AnyLogic поддерживает проектирование, разработку, документирование модели, выполнение компьютерных экспериментов с моделью, включая различные виды анализа — от анализа чувствительности до оптимизации параметров модели относительно некоторого критерия.

В отличие от математического описания имитационная модель описывает структуру и воспроизводит поведение реальной системы во времени, позволяет получать более подробную, а также визуализированную статистику о различных аспектах функционирования системы в зависимости от входных данных, когда как математический вывод является грубым.

## GPSS World

Система GPSS была разработана сотрудником фирмы IBM Джеффри Гордоном в 1961 году. Гордоном были созданы 5 первых версий языка: GPSS (1961), GPSS II (1963), GPSS III (1965), GPSS/360 (1967) и GPSS V (1971). Известный ранее только специалистам, в нашей стране этот программный пакет завоевал популярность после издания в СССР в 1980 году монографии Т Дж. Шрайбера. В ней была рассмотрена одна из ранних версий языка — GPSS/360, а также основные особенности более мощной версии — GPSS V, поддерживаемой компанией IBM, у нас она была более известна как пакет моделирования дискретных систем (ПМДС). Этот пакет работал в среде подсистемы диалоговой обработки системы виртуальных машин единой серии (ПДО СВМ ЕС) ЭВМ. После окончания поддержки GPSS V компанией IBM следующей версией стала система GPSS/H компании Wolverine Software разработанная в 1978 году под руководством Дж. Хенриксена. В 1984 году появилась первая версия GPSS для персональных компьютеров с операционной системой DOS — GPSS/PC. Она была разработана компанией Minuteman Software под руководством С. Кокса. Конец XX века ознаменовался разработкой компанией Minuteman Software программного продукта GPSS World, увидевшей свет в 1993 году. За сравнительно небольшой период времени было выпущено несколько его версий, причем в каждой последующей возможности системы моделирования наращивались. Помимо этих основных версий существует также Micro-GPSS, разработанная Ингольфом Сталлом в Швеции, — это упрощенная версия, предназначенная для изучения языка GPSS, и WebGPSS, также предназначенная для изучения работы системы и разработки простейших имитационных моделей в сети интернет.

Основные версии:

- GPSS I (1961)
- GPSS II (1962)
- GPSS III (1965)

- GPSS/360 (1967)
- GPSS V (1975)
- GPSS/H (1978)
- GPSS/PC (1984)
- Micro-GPSS (1) (1990)
- GRAMOS-GPSS (1993)
- GPSS World (1993)
- Micro-GPSS (2) (1996)
- Расширенный редактор GPSS World (2013)
- Среда моделирования GPSS Studio (2018)
- GPSS World Core (2022)
- Платформа прогнозирования и управления ALINA GPSS (2022).

Широко используется для решения практических задач. Динамическим элементом модели является транзакт — абстрактный объект, который перемещается между статическими элементами, воспроизводя различные события реального моделируемого объекта. В процессе работы модели накапливается статистика, автоматически выводимая по завершении процесса моделирования. Статические элементы модели: источники транзактов, устройства, очереди и другие. Их расположение в модели определяется блоками.

#### Недостатки языка

В программе на языке GPSS достаточно сложно представить непосредственно процессы обработки данных на уровне алгоритмов. Кроме того, модель представляет собой программу, а значит не имеет графической интерпретации, что затрудняет процесс разработки модели и снижает наглядность модели в целом.

В данном индивидуальном проекте предоставляется работа как на AnyLogic так и на GPSS World

## 2. Исходные данные и задание для выполнения индивидуального проекта

### 2.1. Исходные данные для выполнения индивидуального проекта

#### 1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:

Узлы $(i, j)$	1	2	3	4
1	0	1/4	1/4	1/4
2	1/4	0	1/4	0
3	1/4	1/4	0	1/4
4	0	1/3	1/3	0

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

#### 2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:

Вектор интенсивности входящего потока в узлы	Узлы			
	1	2	3	4
$\gamma * 10^6$	0.16	0.14	0.1	0.14

#### 3. Типы математических моделей узлов в сети:

№	Узел			
	1	2	3	4
Математические модели	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1	M/M/1

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков);

D - детерминированный;

E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга;

U - однопоточный.

#### 4. Программа имитационного моделирования: AnyLogic и GPSS.

## 2.2. Задание для выполнения индивидуального проекта. Требования к содержанию и оформлению

### Задание:

1. Построить сетевую топологию, на основе данных приведенных в пункте №1 вашего варианта. Пример построение топологии приведен на странице 25 учебного пособия, рисунок 3.1;
2. Записать уравнение баланса для расчета скорости поступающих пакетов на основе данных приведенных в пункте № 2 вашего варианта. Записать матрицы которые генерируются из уравнения баланса, пример приведен на страницах 25 - 26 учебного пособия;
3. Рассчитать скорость поступающих пакетов по одному из указанных примеров, привести поэтапные скриншоты расчётов (используя приложения Excel или Matlab), рисунки 3.2 – 3.10 Найти Средний интервал между пакетами в конце главы 3.1.
4. Необходимо рассчитать все необходимые параметры используя формулы приведенные таблице 3.1, провести аналитическое моделирование пример выполнения расчетов приведены в главах 3.2 и 3.3. Полученные результаты записать в таблицы 3.2 и 3.4
5. Нужно провести имитационное моделирование используя AnyLogic, вначале для каждого узла по отдельности, после чего создать модель описывающая обобщенную работу сети. Пример выполнения приведен в главах 4.1 и 4.2. Полученные данные занести в таблицы 4.1 и 4.2. Построить гистограммы по таблице 4.2, по 3 параметрам ( $p, W, l$ ) и 3 типам моделирования (аналитически, имитация узел (в конце главы 4.1) и имитация сеть – пример в конце главы 4.2 )
6. Необходимо провести программное моделирование на GPSS World, нужно провести моделирование отдельно каждого узла, после чего провести моделирование всей сети в целом, полученные результаты записать в таблицы 5.1 и 5.2. Построить гистограммы по таблице 5.2, по 3 параметрам

( $p, W, l$ ) и 3 типам моделирования (аналитически, имитация узел (в конце главы 5.1) и имитация сеть – пример в конце главы 5.2 )

7. Записать в таблицу 6.1. результаты полученные при аналитическом имитационном (всей сети) и программном моделировании (всей сети). Построить гистограмму по таблице 6.1, по 3 параметрам ( $p, W, l$ ) и 3 типам моделирования (аналитически, имитация сеть AnyLogic и GPSS – пример на рисунках в главе № 6).

8. Написать заключение по выполненной работе.

#### **Содержание:**

а) Титульный лист;

б) Полноценное выполнение вышеизложенных пунктов по примеру, который приведен ниже;

в) Скриншоты поэтапного выполнения заданий к работе;

г) Заключение по выполненной работе.

#### **Оформление:**

**Текст:** Times New Roman; 14 шрифт; 1,5 интервал, выровнять по ширине;

**Таблица:** Times New Roman; 12 шрифт; 1,1 интервал, выравнивание заголовка таблицы по центру, текст таблицы выровнять по центру;

**Картинка:** Выравнивание по середине, добавить интервал до рисунка и после наименования рисунка. Пример наименования «Рисунок 1.1 -...»

### 3. Аналитический метод моделирования сети передачи данных

#### 3.1. Топология сети и уравнение баланса

Топология сети, построенная на основе приведенных таблиц будет иметь следующий вид:

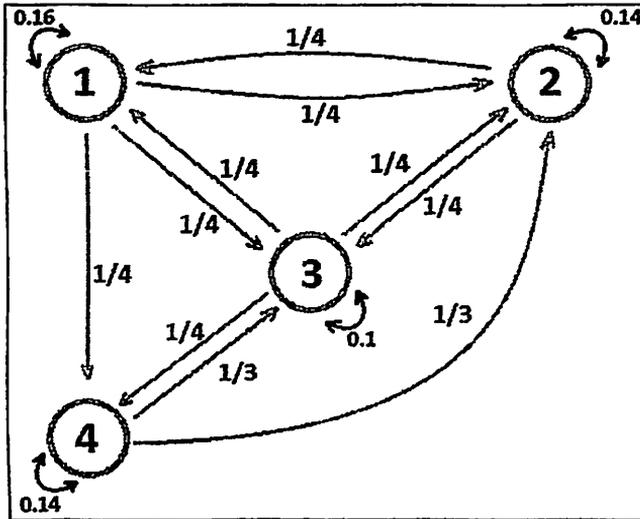


Рисунок 3.1 - Сетевая топология, созданная на основе начальных данных.

Запишем уравнение баланса для расчета скорости поступающих пакетов, на каждый узел:

$$\begin{cases} \lambda_1 = \frac{1}{4}\lambda_2 + \frac{1}{4}\lambda_3 + 0.16 \\ \lambda_2 = \frac{1}{4}\lambda_1 + \frac{1}{4}\lambda_3 + \frac{1}{3}\lambda_4 + 0.14 \\ \lambda_3 = \frac{1}{4}\lambda_1 + \frac{1}{4}\lambda_2 + \frac{1}{3}\lambda_4 + 0.10 \\ \lambda_4 = \frac{1}{4}\lambda_1 + \frac{1}{4}\lambda_3 + 0.14 \end{cases} \quad \begin{cases} 1\lambda_1 - \frac{1}{4}\lambda_2 - \frac{1}{4}\lambda_3 + 0\lambda_4 = 0.16 \\ -\frac{1}{4}\lambda_1 + 1\lambda_2 - \frac{1}{4}\lambda_3 - \frac{1}{3}\lambda_4 = 0.14 \\ -\frac{1}{4}\lambda_1 - \frac{1}{4}\lambda_2 + 1\lambda_3 - \frac{1}{3}\lambda_4 = 0.10 \\ -\frac{1}{4}\lambda_1 + 0\lambda_2 - \frac{1}{4}\lambda_3 + 1\lambda_4 = 0.14 \end{cases}$$

Следующие матрицы создаются из системы уравнений, сгенерированных уравнением баланса:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & 0 \\ -\frac{1}{4} & 1 & -\frac{1}{4} & \frac{1}{3} \\ -\frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{3} \\ -\frac{1}{4} & 0 & \frac{1}{4} & 1 \end{vmatrix} \quad B = \begin{vmatrix} 0.16 \\ 0.14 \\ 0.10 \\ 0.14 \end{vmatrix}$$

Решение системы уравнений Гаусса определяется по следующей математической формуле, где  $X$  - решение уравнения:  $A \times X = B$

Используется формула:  $X = B/A$

Вычислив неизвестное  $X$  можно вычислить значения скорости поступления пакетов на каждый из приведенных узлов (лямда). Решить данное уравнение можно несколькими способами:

- Вручную, на бумаге;
- Используя приложение Excel;
- Используя приложение Matlab.

**Excel** Скорость поступления пакетов на каждый узел из системы уравнений с использованием приложения Excel определяется следующим образом:

**Шаг 1:** Ввод исходных данных.

		1,00	-0,25	-0,25	0,00
		-0,25	1,00	-0,25	-0,33
A	=	-0,25	-0,25	1,00	-0,33
		-0,25	0,00	-0,25	1,00
		0,16			
		0,14			
B	=	0,10			
		0,14			

Рисунок 3.2 - Ввод значений матрицы A, и значений B.

**Шаг 2:** После введения исходных данных, нужно вычислить обратную матрицу для матрицы «A», так как операции деления между матрицами на Excel нет, для этого нужно использовать функцию МОБР.

МОБР		X		✓		fx		=МОБР(Е3:Н6)	
		1,00	-0,25	-0,25	0,00				
		-0,25	1,00	-0,25	-0,33				
A	=	-0,25	-0,25	1,00	-0,33				
		-0,25	0,00	-0,25	1,00				
		0,16							
		0,14							
B	=	0,10							
		0,14							

Рисунок 3.3 - Вводим формулу МОБР, выделив все элементы матрицы (Е3:Н6)

**Шаг 3:** После ввода в первую ячейку матрицы, необходимо выделить нужное количество ячеек для обратной матрицы (4x4),

далее необходимо нажать **F2**, после нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Shift+Enter** - ввода формулы для массива данных

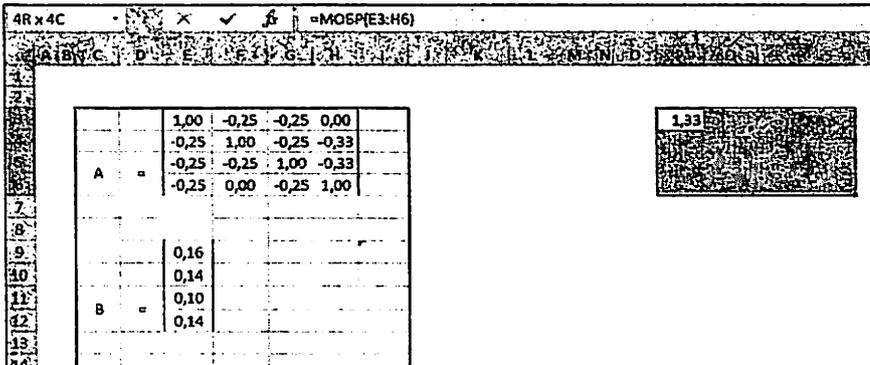


Рисунок 3.4 – Ввод формулы в первую ячейку будущей матрицы

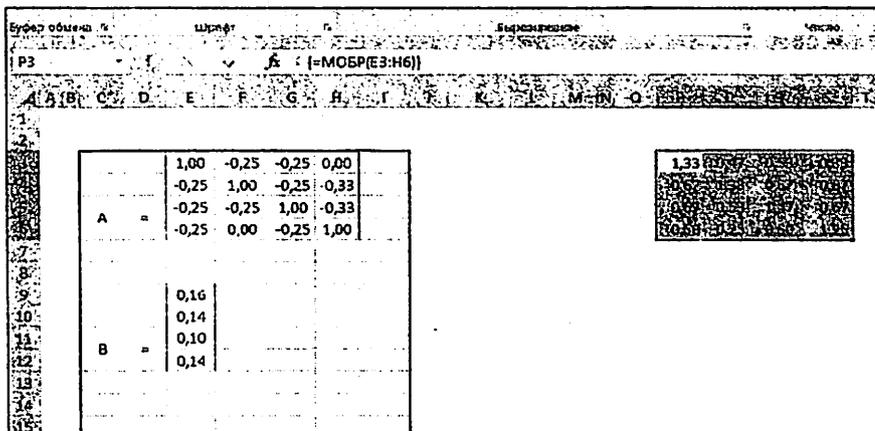


Рисунок 3.5 – Ввод формулы в выделенную область обратной матрицы (4x4) с помощью функции **Ctrl+Shift+Enter**

**Шаг 4:** Ввод формулы для вычисления  $X = B/A$ . Необходимо после ввода формулы в первую ячейку, нажать **Enter**, далее выделить необходимое количество ячеек, так как матрица 4x4, то это 4 ячейки, нажать **F2**, после, комбинацию клавиш **Ctrl+Shift+Enter** для получения значений  $X_1, X_2, X_3, X_4$ .

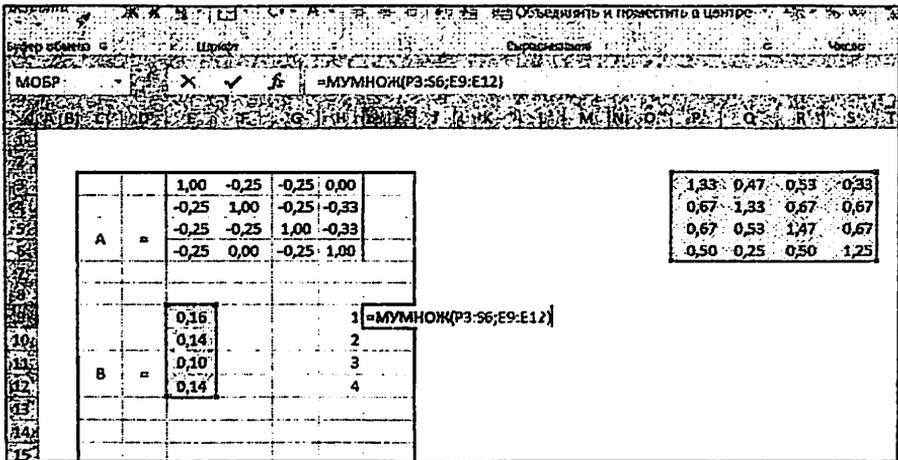


Рисунок 3.6 – Ввод формулы в первую ячейку.

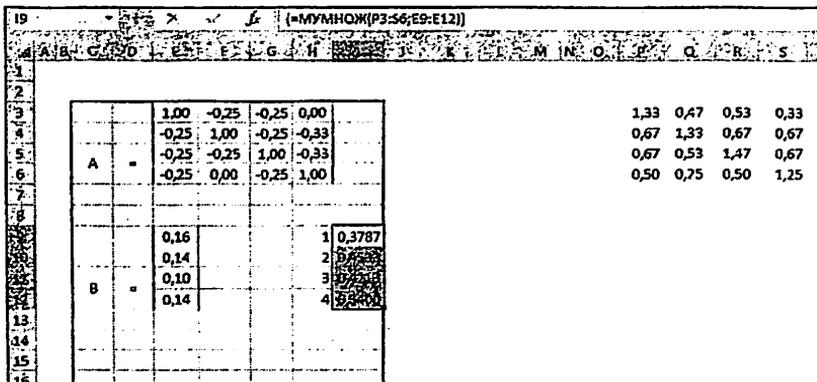


Рисунок 3.7 – Выделение и ввод с помощью комбинации Ctrl+Shift+Enter,

для получения всех значений  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ .

Необходимо выписать полученные значения:

$$\lambda_1 = 0.3787$$

$$\lambda_3 = 0.4213$$

$$\lambda_2 = 0.4533$$

$$\lambda_4 = 0.3400$$

Matlab Скорость поступления пакетов на каждый узел из системы уравнений с использованием приложения Matlab определяется следующим образом:

**Шаг 1. Ввод матрицы A и значений B.** Необходимо задать значения элементов матрицы в квадратных скобках, разделив их запятыми, точкой с запятой осуществляется разделение строк. После ввода значений, нужно нажать **Enter**.

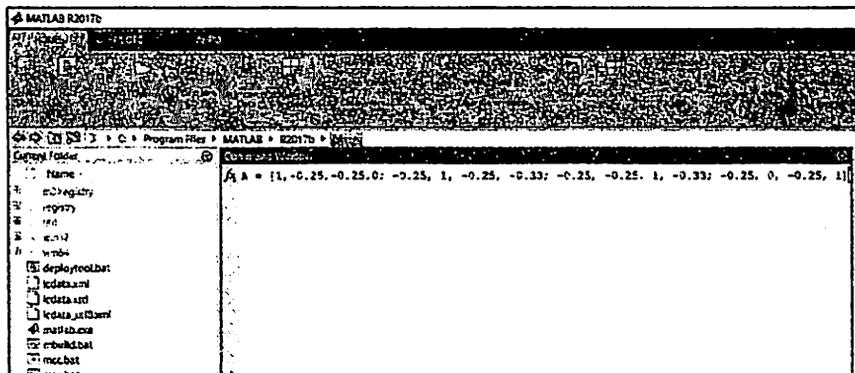


Рисунок 3.8 – Ввод значений матрицы A.

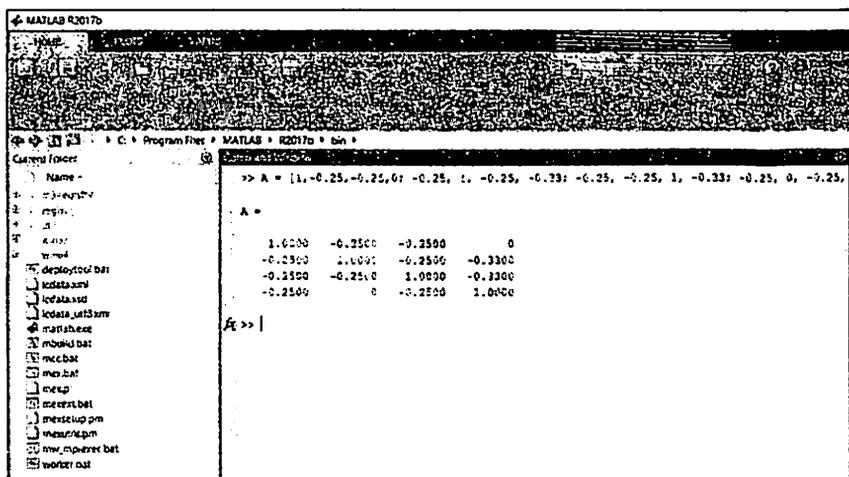


Рисунок 3.8 – Вывод значений матрицы A на рабочее поле Matlab.

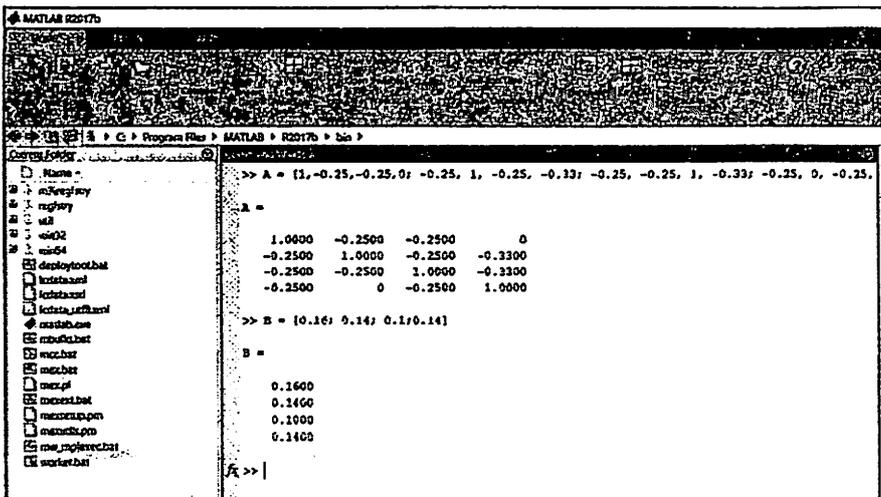


Рисунок 3.9 – Ввод значений В и вывод их на рабочее поле Matlab.

Шаг 2. Используя один из методов вычисления значений  $X$ , вывести значения в рабочее окно Matlab. Можно использовать метод обратной матрицы, метод Гаусса, Метод разложения матрицы, LU разложение. Быстрее всего вычислить значения  $X$  можно используя метод Гаусса – формулу:  $X = A \setminus B$

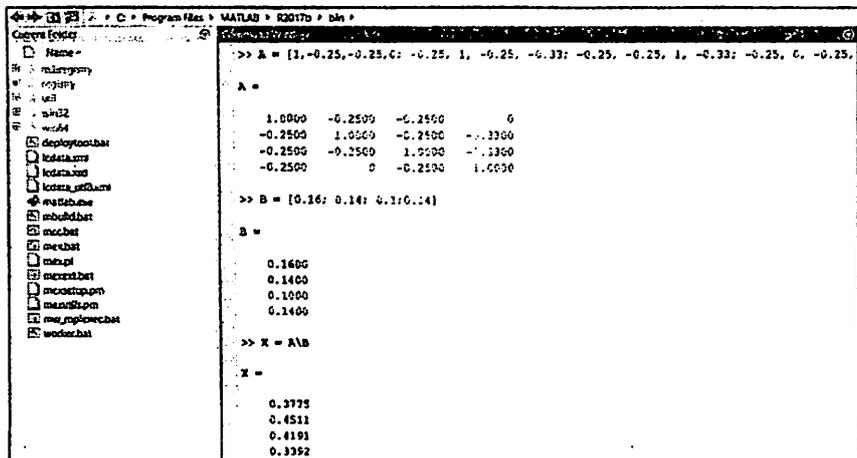


Рисунок 3.10 - Вычисление значений  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ , и вывод данных значений на рабочее поле Matlab.

Как вы можете заметить, результаты полученные при вычислениях с помощью Matlab немного отличаются от результатов полученные на Excel. Это связано с тем, что функция МОБР производит вычисления с точностью до 16 значащих цифр, что может привести к незначительным ошибкам округления. Точность вычислений Matlab выше.

Средний интервал между пакетами, попадающими в каждый узел, будет определен с помощью вычисленных скоростей доступа пакетов в узлы, соответствующим образом. Это определяется по следующей формуле:

$$\tau_i = \frac{1}{\lambda_i}, \quad (i = \overline{1, N})$$

где N - количество узлов.

Средний интервал между пакетами, попадающими на каждый узел, найденный в приведенной выше формуле, выглядит следующим образом:

$$\tau_1 = \frac{1}{0.3787} = 2.64$$

$$\tau_3 = \frac{1}{0.4213} = 2.37$$

$$\tau_2 = \frac{1}{0.4533} = 2.21$$

$$\tau_4 = \frac{1}{0.3400} = 2.94$$

### 3.2. Формулы для расчета, коэффициент передачи узлов

M/M/1 - Марковский

M/U/1 - Однотипный

M/D/1 - Детерминированный

M/E<sub>2</sub>/1 - 2 закон Эрланга

Таблица 3.1

Формулы, необходимые для вычисления характеристик

Характеристики узлов	M/M/1	M/D/1	M/U/1	M/E <sub>2</sub> /1
Коэффициент вариации ( $\nu$ )	1	0	$\frac{b-a}{\sqrt{3(a+b)}}$ , $b > a$	$k=2 \Rightarrow \nu=0.707$ $k=8 \Rightarrow \nu=0.577$ $k=J \Rightarrow \nu=0.5 \sqrt{1/k}$
Нагрузка, ( $\rho$ )	$\rho_i = \rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} < 1$		$\rho_i = \frac{1}{b}, (i = \overline{1, N})$	
Среднее время ожидания заявок в очереди ( $W$ )	$W = \frac{\rho \cdot b}{1 - \rho}$	$W = \frac{\lambda \cdot b^2}{2(1 - \rho)} = \frac{\rho \cdot b}{2(1 - \rho)}$	$W = \frac{\lambda \cdot b^2(1 + \nu^2)}{2(1 - \rho)}$	$W = \frac{\lambda \cdot b^2 \cdot k + 1}{2(1 - \rho) \cdot k}$

Среднее время ожидания заявок в системе ( $U$ )	$U = W + b$	
Средняя длина очереди ( $l$ )	$l = \lambda \cdot W = \frac{\rho^2}{1-\rho}$	$l = \lambda \cdot W$
Среднее количество заявок в системе ( $m$ )	$m = \lambda \cdot U = \frac{\rho}{1-\rho}$	$m = \lambda \cdot U = \frac{\rho(2-\rho)}{2(1-\rho)}$
Коэффициент простоя узла ( $\eta$ )	$\eta_i = 1 - \rho_i, i = \overline{1,4}$	

Вычисление коэффициента передачи узла:

$$\alpha_i = \frac{\lambda_i}{\sum \lambda}$$

$$\sum \lambda_i = 0.3787 + 0.4533 + 0.4213 + 0.3400 = 1.593$$

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{\sum \lambda_i} = \frac{0.3787}{1.593} = 0.2377$$

$$\alpha_3 = \frac{\lambda_3}{\sum \lambda_i} = \frac{0.4213}{1.593} = 0.2644$$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{\sum \lambda_i} = \frac{0.4533}{1.593} = 0.2845$$

$$\alpha_4 = \frac{\lambda_4}{\sum \lambda_i} = \frac{0.3400}{1.593} = 0.2134$$

Нагрузка на узлах определяется по условной формуле:

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} < 1, (i = \overline{1,4})$$

здесь,  $\mu_i$  - интенсивность пакетов услуг;

$\lambda_i$  - скорость пакетов, поступающих на узел.

### 3.3. Аналитическое моделирование

Аналитические расчеты, выполненные на каждом узле в  
едином канале

3.3.1. M/E<sub>2</sub>/1 – аналитическое моделирование 1-го узла на основе математической модели.

Коэффициент вариации:

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{k}} = \frac{1}{2}, \text{ при этом } k = 4;$$

Среднее время задержки заявок:  $b_1 = 2$ ;

Коэффициент использования сервисного оборудования третьего узле:

$$\rho_1 = \lambda_1 \cdot b_1 = 0.3787 \cdot 2 = 0.757;$$

Среднее время ожидания заявок в очереди в 3-ом узле:

$$W_1 = \frac{\lambda_1 \cdot b_1^2 \cdot \frac{k+1}{k}}{2 \cdot (1 - \rho_1)} = \frac{0.3787 \cdot 4 \cdot \frac{4+1}{4}}{2 \cdot (1 - 0.757)} = 4.681;$$

Среднее время нахождения заявок на узле:

$$U_1 = W_1 + b_1 = 4.681 + 2 = 6.681;$$

Средняя длина очередей заявок:

$$l_1 = \lambda_1 \cdot W_1 = 0.3787 \cdot 4.681 = 1.773;$$

Среднее количество заявок в узле:

$$m_1 = \lambda_1 \cdot U_1 = 0.3787 \cdot 6.681 = 2.530;$$

Коэффициент простоя узла:

$$\eta_1 = 1 - \rho_1 = 1 - 0.8427 = 0.243;$$

### **3.3.2. M/U/1 – аналитическое моделирование 2-го узла на основе математической модели.**

Максимальные и минимальные отклонения:

$$a = 0.4; \quad b = 0.6;$$

Среднее время задержки заявок:  $b_2 = 2$ ;

Коэффициент использования сервисного оборудования во втором узле:

$$\rho_2 = \lambda_2 \cdot b_2 = 0.4533 \cdot 2 = 0.9067$$

Определение коэффициента вариации:

$$v_2 = \frac{b - a}{\sqrt{3} \cdot (a + b)} = \frac{0.6 - 0.4}{\sqrt{3} \cdot (0.4 + 0.6)} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.1155$$

Среднее время ожидания заявок в очереди в 1-ом узле:

$$W_2 = \frac{\lambda_2 \cdot b_2^2 \cdot (1 + v_2^2)}{2 \cdot (1 - \rho_2)} = \frac{0.4533 \cdot 4 \cdot (1 + 0.0133)}{2 \cdot (1 - 0.9067)} = 9.8438$$

Среднее время нахождения заявок на узле:

$$U_2 = W_2 + b_2 = 9.8438 + 2 = 11.8438;$$

Средняя длина очередей заявок:

$$l_2 = \lambda_2 \cdot W_2 = 0.4533 \cdot 9.8438 = 4.4625;$$

Среднее количество заявок в узле:

$$m_2 = \lambda_2 \cdot U_2 = 0.4533 \cdot 11.8438 = 5.37;$$

Коэффициент простоя узла:

$$\eta_2 = 1 - \rho_2 = 1 - 0.9067 = 0.0933;$$

### 3.3.3. M/D/1 – аналитическое моделирование 3-го узла на основе математической модели.

Коэффициент вариации:  $v_3 = 0$

Среднее время задержки заявок:  $b_3 = 2$

Коэффициент использования сервисного оборудования в первом узле:

$$\rho_3 = \lambda_3 \cdot b_3 = 0.4213 \cdot 2 = 0.843$$

Среднее время ожидания заявок в очереди в 1-ом узле:

$$W_3 = \frac{\lambda_3 \cdot b_3^2}{2 \cdot (1 - \rho_3)} = \frac{0.4213 \cdot 4}{2 \cdot (1 - 0.843)} = 5.356$$

Среднее время нахождения заявок на узле:

$$U_3 = W_3 + b_3 = 5.356 + 2 = 7.356$$

Средняя длина очередей заявок:

$$l_3 = \lambda_3 \cdot W_3 = 0.4213 \cdot 5.356 = 2.256$$

Среднее количество заявок в узле:

$$m_3 = \lambda_3 \cdot U_3 = 0.4213 \cdot 7.356 = 3.099$$

Коэффициент простоя узла:

$$\eta_3 = 1 - \rho_3 = 1 - 0.843 = 0.157$$

### 3.3.4. M/M/1 – аналитическое моделирование 4-го узла на основе математической модели.

Коэффициент вариации:  $v_4 = 1$ ;

Среднее время задержки заявок:  $b_4 = 2$ ;

Коэффициент использования сервисного оборудования четвертого узле:

$$\rho_4 = \lambda_4 \cdot b_4 = 0.34 \cdot 2 = 0.68;$$

Среднее время ожидания заявок в очереди в 4-ом узле:

$$W_4 = \frac{\rho_4 \cdot b_4}{(1 - \rho_4)} = \frac{0.68 \cdot 2}{1 - 0.68} = 4.25;$$

Среднее время нахождения заявок на узле:

$$U_4 = W_4 + b_4 = 4.25 + 2 = 6.25;$$

Средняя длина очередей заявок:

$$l_4 = \lambda_4 \cdot W_4 = 0.34 \cdot 4.25 = 1.445;$$

Среднее количество заявок в узле:

$$m_4 = \lambda_4 \cdot U_4 = 0.34 \cdot 6.25 \doteq 2.125;$$

Коэффициент простоя узла:

$$\eta_4 = 1 - \rho_4 = 1 - 0.68 = 0.32;$$

Таблица 3.2

Данные полученные при аналитическом моделировании каждого узла в отдельности

№	Характеристики узлов	1-узел	2-узел	3-узел	4-узел
		M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1	M/M/1
1.	Коэффициента передачи узла ( $\alpha$ )	0.238	0.285	0.264	0.213
2.	Нагрузка, ( $\rho$ )	0.757	0.907	0.843	0.680
3.	Среднее время ожидания заявок в очереди ( $W$ )	4.681	9.844	5.356	4.250
4.	Среднее время нахождения заявок на узле ( $U$ )	6.681	11.844	7.356	6.250
5.	Средняя длина очередей заявок ( $l$ )	1.773	4.463	2.257	1.445
6.	Среднее количество заявок в узле ( $m$ )	2.253	5.327	3.099	2.125
7.	Коэффициент простоя узла ( $\eta$ )	0.243	0.093	0.157	0.320

### 3.4. Аналитическое моделирование сети массового обслуживания. Определение характеристик сети

Таблица 3.3

Формулы сумм, вычисленных параметров

№	Характеристик Сети	Формулы
1.	Общая нагрузка	$Y = \sum_{i=1}^n y_i$
2.	Общая загруженность	$R = \sum_{i=1}^n \rho_i$
3.	Среднее время ожидания заявок в сети	$W = \sum_{i=1}^n w_i$
4.	Среднее время нахождения заявок на узле	$U = \sum_{i=1}^n a_i \cdot U_i$

5.	Среднее количество заявок сети	$L = \sum_{i=1}^n l_i$
6.	Среднее количество заявок, размещенных в сети	$M = \sum_{i=1}^n m_i$
7.	Скорость обслуживания заявок	$\lambda_0 = \frac{M}{U}$

1. Общая нагрузка:

$$Y = \sum_{i=1}^n y_i = 0.757 + 0.907 + 0.843 + 0.680 = 3.187;$$

2. Общая загруженность:

$$R = \sum_{i=1}^n \rho_i = 0.757 + 0.907 + 0.843 + 0.680 = 3.187;$$

3. Среднее время ожидания заявок в сети:

$$\begin{aligned} W &= \sum_{i=1}^n a_i W_i = 0.238 \cdot 4.681 + 0.285 \cdot 9.844 + 0.264 \cdot 5.356 + 0.213 \cdot 4.250 \\ &= 6.051; \end{aligned}$$

4. Среднее время нахождения заявок на узле:

$$\begin{aligned} U &= \sum_{i=1}^n a_i U_i = 0.238 \cdot 6.681 + 0.285 \cdot 11.844 + 0.264 \cdot 7.356 + 0.213 \cdot 6.250 \\ &= 8.051; \end{aligned}$$

5. Среднее количество заявок сети:

$$L = \sum_{j=1}^n l_j = 1.773 + 4.463 + 2.257 + 1.445 = 9.641;$$

6. Среднее количество заявок, размещенных в сети:

$$M = \sum_{i=1}^n m_i = 2.235 + 5.327 + 3.099 + 2.125 = 12.828;$$

7. Скорость обслуживания заявок:

$$\lambda_0 = \frac{M}{U} = \frac{12.828}{8.051} = 1.593;$$

Таблица 3.4

Результаты полученных сумм

№	Характеристик Сети	Полученные значения
1	Общая нагрузка ( $\gamma$ )	3.187
2	Общая загруженность ( $\rho$ )	3.187
3	Среднее время ожидания заявок в сети ( $W$ )	6.051
4	Среднее время нахождения заявок на линии ( $U$ )	8.051
5	Среднее количество заявок сети ( $L$ )	9.641
6	Среднее количество заявок, размещенных в сети ( $M$ )	12.828
7	Скорость обслуживания заявок ( $\lambda_0$ )	1.593

## 4. Имитационное моделирование в среде AnyLogic

### 4.1. Имитационное моделирование каждого узла в одноканальных сетях массового обслуживания без ограничения с помощью программного обеспечения AnyLogic.

#### 4.1.1. Имитационное моделирование 1-го узла на основе математической модели.

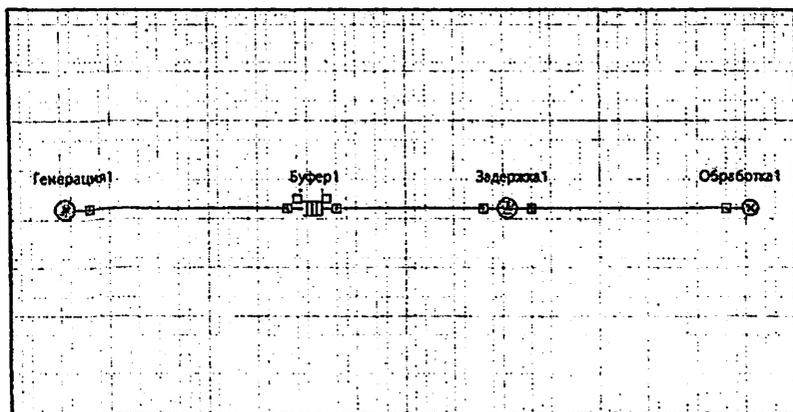


Рисунок 4.1.1 - Создание имитационной модели первого узла. M/E2/1.

Имя: <input type="text" value="Генерация1"/>		<input checked="" type="checkbox"/> Отображать иконку	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации
Тип: <input type="text" value="Source &lt;T extends Entity&gt;"/>		Класс заголовка: <input type="text" value="Sohib"/>			
Пакет: <input type="text" value="ru.yandex.anylogic.interfacer"/>					
Заказы прибывают согласно		<input type="radio"/> Интенсивности <input checked="" type="radio"/> Времени между прибытиями <input type="radio"/> Таблице интенсивностей			
Время между прибытиями <sup>a</sup>		<input type="text" value="exponential(0.3787)"/>			
Количество заказов, прибывающих за один раз <sup>b</sup>		<input type="text" value="1"/>			
Ограниченное количество прибытий		<input type="checkbox"/>			
Новая заявка <sup>c</sup>		<input type="text" value="new Sohib()"/>			
Действие при выходе <sup>d</sup>					
Фигура анимации заявки <sup>e</sup>					
Уникальная фигура для каждой заявки		<input type="checkbox"/>			
Разрешить вращение		<input type="checkbox"/>			
Количество <sup>f</sup>					

Рисунок 4.1.2 - Настройка блока генерации, вводим данные ( $\lambda$ ).

```

public class Sdly extends com.C.myscript.Libraries.com.mysql.jdbc.Statement java.io.Serializable {
    double m;
    double w;
    double v;

    // Конструкторы по умолчанию
    public Sdly() {
    }

    // Конструкторы с параметрами
    public Sdly(double m, double w, double v) {
        this.m = m;
        this.w = w;
        this.v = v;
    }

    // Методы
    public String toString() {
        return "
        m: " + m + "
        w: " + w + "
        v: " + v + "
        ";
    }

    // Это метод toString() для отладки программы
    // Он выводит значения переменных в форме: m=... w=... v=...
    // public static final long serialVersionUID = 1L;
}

```

Рисунок 4.1.3 - Создаем класс, для отображение необходимых параметров.

Подробное описание создания класса, в Приложении № 1.

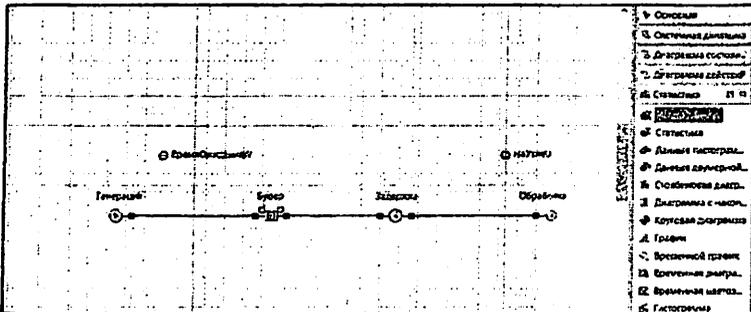


Рисунок 4.1.4 - Выводим параметр для вывода данных. Вкладка «Статистика», далее «Набор данных»

ВремяОтождествления - гистограмма

Имя:   Отображать имя  Усложнить  На верхнем уровне

Отображать полную версию  Отображать 0-е распределение  Отображать среднее

Заголовок:

Цвет гистограммы вер-тик:  Цвет линии среднего:

Толщина линии 0-го распред. и среднего: 1 px

---

Заголовок:

Цвет гистограммы вер-тик:  Цвет линии среднего:

Толщина линии 0-го распред. и среднего: 1 px

Рисунок 4.1.5 - Добавляем гистограмму.

Имя:	Буфер	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации	<input type="checkbox"/>
Тип:	Queue<T extends Entity>	Класс заголовка: Sohib				
Пакет:	ru.ylogiclibraries.enterprise.v1					
Максимальная вместимость:	<input checked="" type="checkbox"/>					
Действие при входе:	entity.setTime();					
Действие при выходе и входе:						
Действие при выходе:	времяЗадержки.add(time()-entity.a);					
Разрешить уклон по таймлауту:	<input type="checkbox"/>					
Разрешить аннотацию:	<input type="checkbox"/>					
Фигура аннотации:						
Тип аннотации:	Путь					
Направление аннотации:	<input checked="" type="radio"/> Вперед <input type="radio"/> Назад					
Включить сбор статистики:	<input checked="" type="checkbox"/>					

Рисунок 4.1.6 - Настройка буфера. Использование класса "Sohib".

Имя:	Задержка	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации	<input type="checkbox"/>
Тип:	Delay<T extends Entity>	Класс заголовка: Entity				
Пакет:	ru.ylogiclibraries.enterprise.v1					
Задержка задается:	<input checked="" type="radio"/> Явно <input type="radio"/> Как длина пути/скорость					
Время задержки:	exponential (a) + exponential (a)					
Вместимость:	1					
Максимальная вместимость:	<input type="checkbox"/>					
Действие при входе:						
Действие при выходе:						
Фигура аннотации:						
Тип аннотации:	Путь					
Направление аннотации:	<input checked="" type="radio"/> Вперед <input type="radio"/> Назад					
Включить сбор статистики:	<input checked="" type="checkbox"/>					

Рисунок 4.1.7 - Настройка блока задержки. Время задержки зависит от величины "b", смотрите Приложение № 2.

Имя:	Обработка	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации	<input type="checkbox"/>
Тип:	Sink<T extends Entity>	Класс заголовка: Sohib				
Пакет:	ru.ylogiclibraries.enterprise.v1					
Действие при входе:	наУпаку.add(time()-entity.a);					
Количество:						

Рисунок 4.1.8 - Настройка блока обработки, включение класса «Sohib».

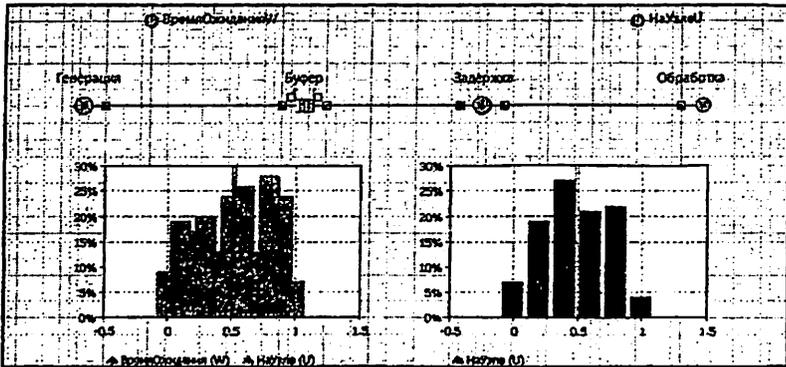


Рисунок 4.1.9 - Добавляем 2 гистограммы.

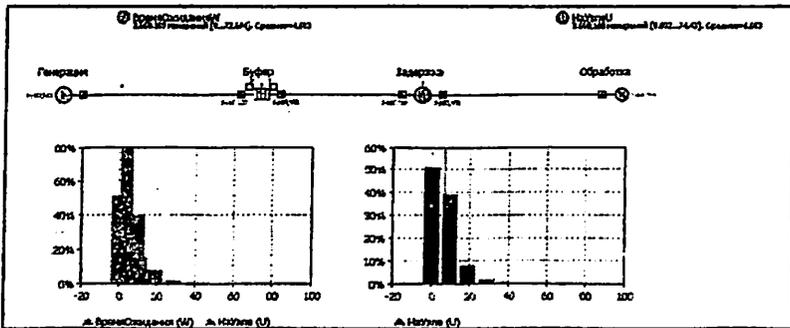


Рисунок 4.1.10 - Запуск имитационной модели

<p><b>Время обслуживания</b></p> <p>Кол-во 5,624,447</p> <p>Среднее 4.676</p> <p>Мин 0</p> <p>Макс 69.152</p> <p>Среднеквадр. отклонение 5.846</p> <p>Доверит. интервал для среднего 0.004</p> <p>Сумма 30,576,902.65</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>От</th> <th>До</th> <th>Плотность вероятности</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>12.0</td> <td>6,017,188</td> </tr> <tr> <td>12.0</td> <td>23.6</td> <td>540,469</td> </tr> <tr> <td>23.6</td> <td>38.4</td> <td>23,397</td> </tr> <tr> <td>38.4</td> <td>51.2</td> <td>7,731</td> </tr> </tbody> </table>	От	До	Плотность вероятности	0	12.0	6,017,188	12.0	23.6	540,469	23.6	38.4	23,397	38.4	51.2	7,731	<p><b>Нагрузка</b></p> <p>Кол-во 6,624,446</p> <p>Среднее 6.676</p> <p>Мин 5.7642-4</p> <p>Макс 70.67</p> <p>Среднеквадр. отклонение 6.016</p> <p>Доверит. интервал для среднего 0.005</p> <p>Сумма 44,221,810.398</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>От</th> <th>До</th> <th>Плотность вероятности</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-6.2</td> <td>6.6</td> <td>4,135,965</td> </tr> <tr> <td>6.6</td> <td>19.4</td> <td>2,195,351</td> </tr> <tr> <td>19.4</td> <td>32.2</td> <td>258,789</td> </tr> <tr> <td>32.2</td> <td>45.0</td> <td>67,677</td> </tr> </tbody> </table>	От	До	Плотность вероятности	-6.2	6.6	4,135,965	6.6	19.4	2,195,351	19.4	32.2	258,789	32.2	45.0	67,677
От	До	Плотность вероятности																													
0	12.0	6,017,188																													
12.0	23.6	540,469																													
23.6	38.4	23,397																													
38.4	51.2	7,731																													
От	До	Плотность вероятности																													
-6.2	6.6	4,135,965																													
6.6	19.4	2,195,351																													
19.4	32.2	258,789																													
32.2	45.0	67,677																													
<p><b>Буфер</b></p> <p>корневой.Буфер: Queue</p> <p>Capacity: 2,147,483,647</p> <p>Timeout: disabled</p> <p>Prescription: disabled</p> <p>in: 6,624,447</p> <p>out: 6,624,447</p> <p>Length (av): 1.774</p> <p>Contains: 0 (0 with timeout)</p>	<p><b>Задержка</b></p> <p>корневой.Задержка: Delay</p> <p>Capacity: 1</p> <p>in: 6,624,447</p> <p>out: 6,624,446</p> <p>Utilization: 0.757</p> <p>Contains: 1</p> <p>3.617 a = 1.748909611884001E7 b = 0.0 0 *</p>																														

Рисунок 4.1.11 - Вывод необходимых данных

#### 4.1.2. Имитационное моделирование 2-го узла на основе математической модели.

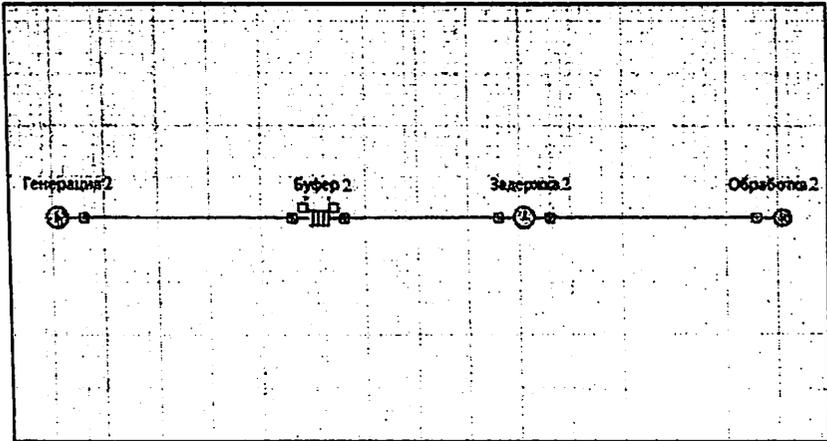


Рисунок 4.1.12 - Создание имитационной модели второго узла. M/U/1.

Модель: Очно Справка

Обратиться за помощью

Сources

Имя:   Отображать имя  Исключить  На верхнем уровне  На презентации  Добавить презентацию

Тип:  Класс записи:

Пакет:

Заявки прибывают согласно  Истечению  Времени между прибытиями  Таблице интенсивности

Время между прибытиями

Количество заявок, прибывающих за один раз

Ограниченное количество прибытий

Новая заявка

Действие при выходе

Фигура очередей заявок

Уникальная фигура для каждой заявки

Разрешить вращение

Количество:

Рисунок 4.1.13 - Настройка блока генерации, вводим данные ( $\lambda$ ).

```

public class JUnit extends junit.swing.JUnitLibraries {
    public JUnit() {
        setTitle("JUnit");
    }
    public void run() {
        // ...
    }
}

```

Рисунок 4.1.14 - Создаем класс, для отображение необходимых параметров.

Подробное описание создания класса, в Приложении № 1.

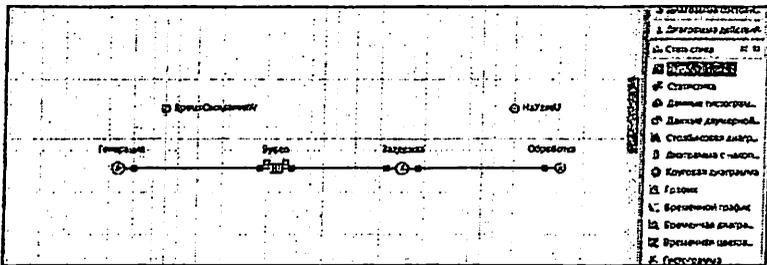


Рисунок 4.1.15 - Выводим параметр для вывода данных. Вкладка «Статистика», далее «Набор данных»

Рисунок 4.1.16 - Добавляем гистограмму.

Имя:	Буфер	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации
Тип:	Queue<T extends Entity>	Класс заголовка:	Sohib		
Пакет:	ru.ylogiclibralex.enterprise				
Максимальная вместимость:	<input checked="" type="checkbox"/>				
Действие при входе:	entity.setTime();				
Действие при выходе:	buffer.add(entity);				
Действие при выходе:	buffer.add(entity);				
Разрешить уход по таймoutu:	<input type="checkbox"/>				
Разрешить выключение:	<input type="checkbox"/>				
Оптура анимации:					
Тип анимации:	Путь				
Направление анимации:	<input checked="" type="radio"/> Вперед <input type="radio"/> Назад				
Включать сбор статистики:	<input checked="" type="checkbox"/>				

Рисунок 4.1.17 - Настройка буфера. Использование класса "Sohib".

Имя:	Задержка	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации
Тип:	Delay<T extends Entity>	Класс заголовка:	Entity		
Пакет:	ru.ylogiclibralex.enterprise				
Задержка задается:	<input checked="" type="radio"/> По-о <input type="radio"/> По длине пути/скорости				
Время задержки:	uniform (1.0, 2.0)				
Вместимость:	1				
Максимальная вместимость:	<input type="checkbox"/>				
Действие при входе:					
Действие при выходе:					
Оптура анимации:					
Тип анимации:	Путь				
Направление анимации:	<input checked="" type="radio"/> Вперед <input type="radio"/> Назад				
Включать сбор статистики:	<input checked="" type="checkbox"/>				
Количество:					

Рисунок 4.1.18 - Настройка блока задержки. Время задержки зависит от величины "b", смотрите Приложение № 2.

Имя:	Обработка	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации
Тип:	Sink<T extends Entity>	Класс заголовка:	Sohib		
Пакет:	ru.ylogiclibralex.enterprise				
Действие при входе:	buffer.add(entity);				
Количество:					

Рисунок 4.1.19 - Настройка блока задержки. Время задержки зависит от величины "b", и вариации

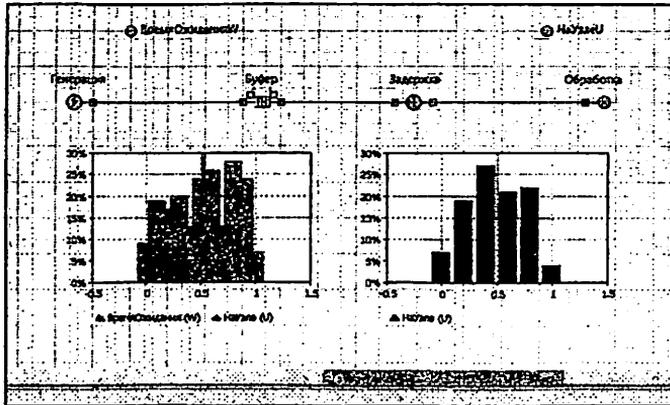


Рисунок 4.1.20 - Добавляем 2 гистограммы.

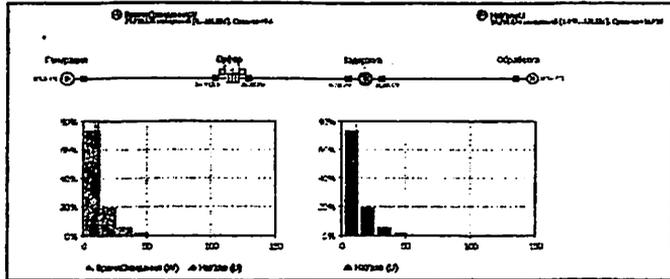


Рисунок 4.1.21 - Запуск имитационной модели

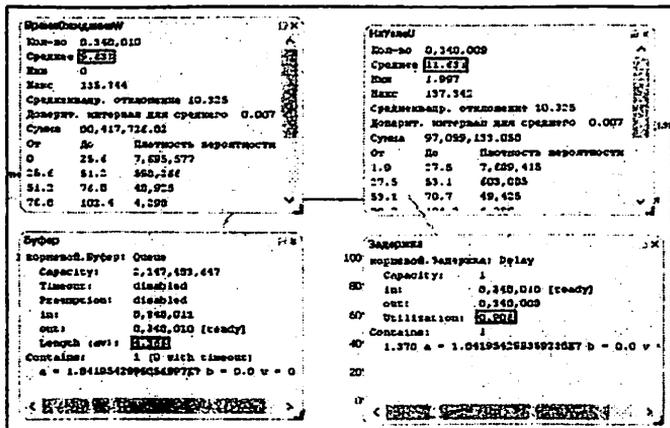


Рисунок 4.1.22 - Вывод необходимых данных

### 4.1.3. Имитационное моделирование 3-го узла на основе математической модели.

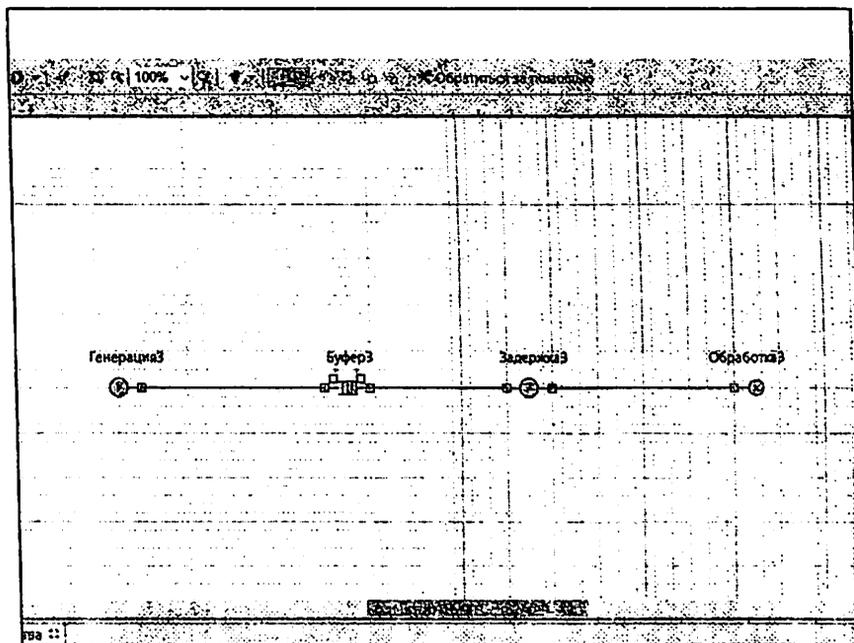


Рисунок 4.1.23 - Создание имитационной модели первого узла. M/D/1.

Source	
Имя: <input type="text" value="Генерация"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя <input type="checkbox"/> Исключить <input type="checkbox"/> На вернем уровне <input checked="" type="checkbox"/> На презентации
Тип: <input type="text" value="Source - T extends Entity"/>	Класс заявок: <input type="text" value="Soh1b"/>
Пакет: <input type="text" value="mylogic\libraries\entoprize"/>	
Заявки прибывают согласно	<input type="radio"/> Интенсивности <input checked="" type="radio"/> Времени между прибытиями <input type="radio"/> Таблице интенсивностей
Время между прибытиями	<input type="text" value="exponential( 0.42133 )"/>
Количество заявок, прибывающих за один раз	<input type="text" value="1"/>
Ограниченное количество прибытий	<input type="checkbox"/>
Новая заявка	<input type="text" value="new Soh1b()"/>
Действие при выходе	
Фигура анимации заявок	<input checked="" type="checkbox"/>
Уникальная фигура для каждой заявки	<input type="checkbox"/>
Разрешить вращение	<input type="checkbox"/>
Количество:	

Рисунок 4.1.24 - Настройка блока генерации, вводим данные ( $\lambda$ ).

```

public class Point extends Serializable implements Comparable<Point>, Serializable {
    double x;
    double y;
    double z;

    // Конструктор по умолчанию
    public Point() {
    }

    // Конструктор, принимающий координаты
    public Point(double x, double y, double z) {
        this.x = x;
        this.y = y;
        this.z = z;
    }

    @Override
    public String toString() {
        return "Point [x=" + x + ", y=" + y + ", z=" + z + "]";
    }

    // Метод, возвращающий расстояние между двумя точками
    public double distance(Point other) {
        return Math.sqrt(Math.pow(x - other.x, 2) + Math.pow(y - other.y, 2) + Math.pow(z - other.z, 2));
    }
}

```

Рисунок 4.1.25 - Создаем класс, для отображение необходимых параметров.

Подробное описание создания класса, в [Приложении № 1](#).

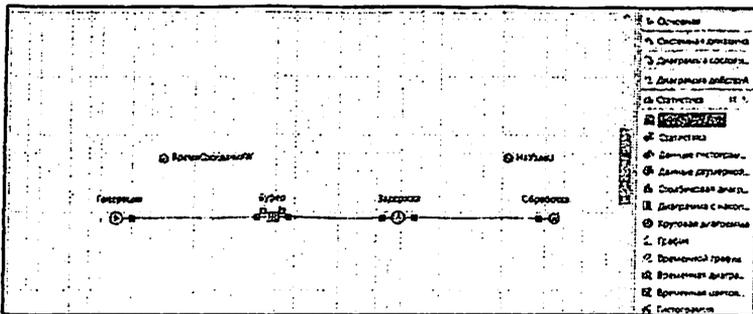


Рисунок 4.1.26 - Выводим параметр для вывода данных. Вкладка «Статистика», далее «Набор данных»

Рисунок 4.1.27 - Добавляем гистограмму.

Имя:	Буфер	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации
Тип:	Queue<T extends Entity>	Класс заголовка: Sohib			
Пакет:	ru.logiclibrares.enterprise				
Максимальная вместимость:	<input checked="" type="checkbox"/>				
Действие при входе:	entity.setTime();				
Действие при подходе к выводу:	processQueue.add(time()-entity.a);				
Действие при выходе:					
Разрешить уход по таймлау:	<input type="checkbox"/>				
Разрешать вытеснение:	<input type="checkbox"/>				
Фигура анимации:					
Тип анимации:	Путь				
Направление анимации:	<input checked="" type="radio"/> Вперед <input type="radio"/> Назад				
Включить сбор статистики:	<input checked="" type="checkbox"/>				

Рисунок 4.1.28 - Настройка буфера. Использование класса "Sohib".

Имя:	Задержка	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации
Тип:	Delay<T extends Entity>	Класс заголовка: Sohib			
Пакет:	ru.logiclibrares.enterprise				
Задержка задается:	<input checked="" type="radio"/> Явно <input type="radio"/> Как длина пути/скорость				
Время задержки:	2				
Вместимость:	1				
Максимальная вместимость:	<input type="checkbox"/>				
Действие при входе:					
Действие при выходе:					
Фигура анимации:					
Тип анимации:	Путь				
Направление анимации:	<input checked="" type="radio"/> Вперед <input type="radio"/> Назад				
Включить сбор статистики:	<input checked="" type="checkbox"/>				

Рисунок 4.1.29 - Настройка блока задержки. Время задержки зависит от величины "b", смотрите Приложение № 2.

Имя:	Обработка	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации
Тип:	Sink<T extends Entity>	Класс заголовка: Sohib			
Пакет:	ru.logiclibrares.enterprise				
Действие при входе:	наУзлеU.add(time()-entity.a);				
Количество:					

Рисунок 4.1.30.- Настройка блока обработки, включение класса «Sohib».

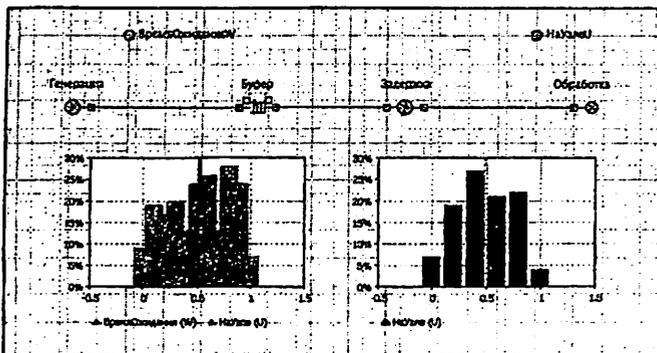


Рисунок 4.1.31 - Добавляем 2 гистограммы.

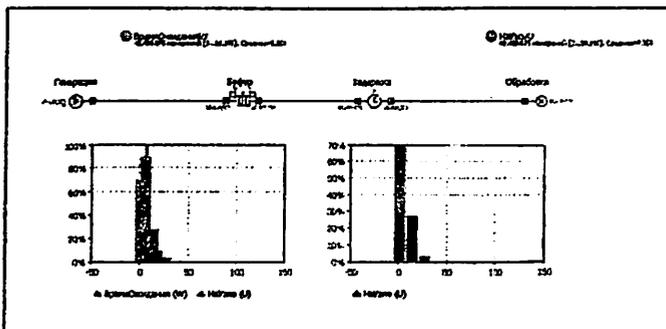


Рисунок 4.1.32 - Запуск имитационной модели

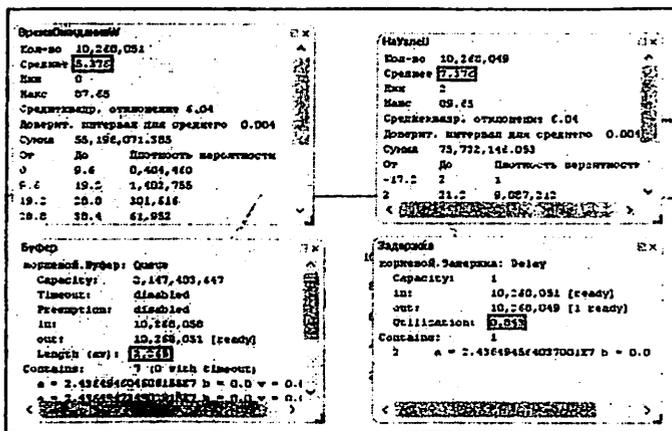


Рисунок 4.1.33 - Вывод необходимых данных

#### 4.1.4. Имитационное моделирование 4-го узла на основе математической модели.

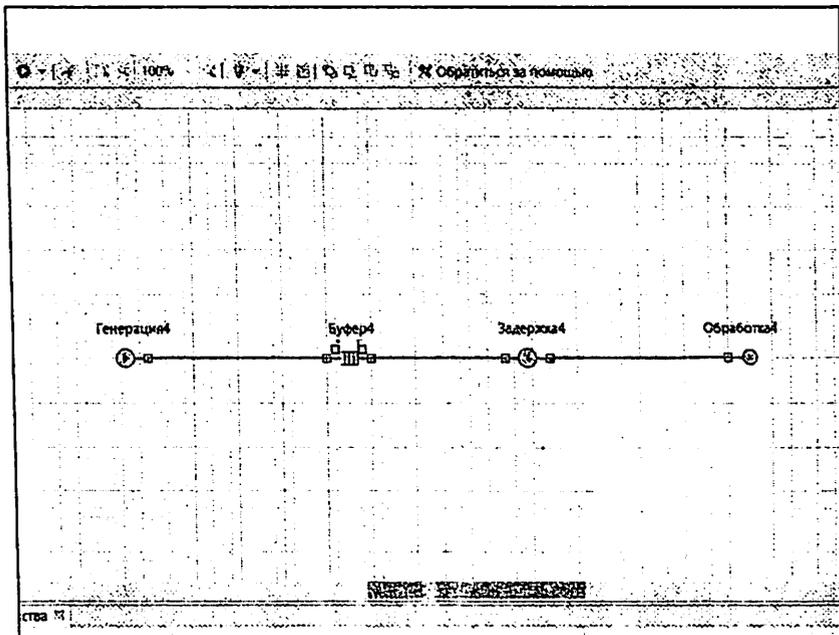


Рисунок 4.1.34 - Создание имитационной модели первого узла. М/М/1.

The configuration window for the 'Source' block has the following settings:
 

- Имя:** Генерация
- Отображать имя
- Исключить
- На ведомом уровне
- На презентации
- Тип:** Source <T extends Entity>
- Класс записи:** Schib
- Пакет:** tuologic.balises.enterprise
- Интенсивности
- Времени между прибытиями
- Таблица интенсивностей
- Время между прибытиями:** exponential ( 0.341)
- Количество записей, прибывающих за один раз:** 1
- Ограниченное количество прибытий
- Номер записи:** new schib()
- Действие при выходе:**
- Фиксура анимации записи
- Уникальная фигура для каждой записи
- Разрешить вращение
- Количество:**

Рисунок 4.1.35 - Настройка блока генерации, вводим данные (λ).

```

public class Ymlb extends org.jax.jaxlibaries.mscapetie.entity implements java.io.Serializable {
    double a;
    double b;
    double v;

    //
    // Конструктор по умолчанию
    //
    public Ymlb() {
    }

    // Конструктор, позволяющий задать все
    //
    public Ymlb(double a, double b, double v) {
        this.a = a;
        this.b = b;
        this.v = v;
    }

    //
    // Метод
    //
    public String toString() {
        return "Ymlb [a=" + a + ", b=" + b + ", v=" + v + "]";
    }
}

```

Рисунок 4.1.36 - Создаем класс, для отображение необходимых параметров.

Подробное описание создания класса, в [Приложении № 1](#).

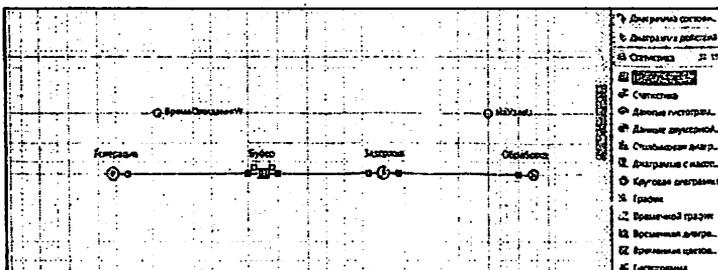


Рисунок 4.1.37 - Выводим параметр для выводу данных. Вкладка «Статистика», далее «Набор данных»

Рисунок 4.1.38 - Добавляем гистограмму.

Имя: <input type="text" value="Буфер"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации
Тип: <input type="text" value="Queue&lt;T extends Entity&gt;"/>	Класс заголовка: <input type="text" value="Sohib"/>			
Пакет: <input type="text" value="pylogic.libraries.entrprise"/>				
Максимальная вместимость	<input checked="" type="checkbox"/>			
Действие при входе	<input type="text" value="entity.addToTime();"/>			
Действие при выходе	<input type="text" value="time.add(time()-entity.a);"/>			
Разрешить уход по таймауту	<input type="checkbox"/>			
Разрешить вытеснение	<input type="checkbox"/>			
Сигура анимации				
Тип анимации	<input type="text" value="Путь"/>			
Направление анимации	<input checked="" type="radio"/> Вперед <input type="radio"/> Назад			
Включить сбор статистики	<input checked="" type="checkbox"/>			

Рисунок 4.1.39 - Настройка буфера. Использование класса "Sohib".

Имя: <input type="text" value="Задержка"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации
Тип: <input type="text" value="Delay&lt;T extends Entity&gt;"/>	Класс заголовка: <input type="text" value="Sohib"/>			
Пакет: <input type="text" value="pylogic.libraries.entrprise"/>				
Задержка задается	<input checked="" type="radio"/> Явно <input type="checkbox"/> Как длина пути/скорость			
Время задержки	<input type="text" value="exponential(0.5)"/>			
Вместимость	<input type="text" value="1"/>			
Максимальная вместимость	<input type="checkbox"/>			
Действие при входе				
Действие при выходе				
Сигура анимации				
Тип анимации	<input type="text" value="Путь"/>			
Направление анимации	<input checked="" type="radio"/> Вперед <input type="radio"/> Назад			
Включить сбор статистики	<input checked="" type="checkbox"/>			
Количество				

Рисунок 4.1.40 - Настройка блока задержки. Время задержки зависит от величины "b", смотрите Приложение № 2.

Имя: <input type="text" value="Обработка"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Отображать имя	<input type="checkbox"/> Исключить	<input type="checkbox"/> На верхнем уровне	<input checked="" type="checkbox"/> На презентации
Тип: <input type="text" value="Sink&lt;T extends Entity&gt;"/>	Класс заголовка: <input type="text" value="Sohib"/>			
Пакет: <input type="text" value="pylogic.libraries.entrprise"/>				
Действие при входе	<input type="text" value="map.add(time()-entity.a);"/>			
Количество:				

Рисунок 4.1.41 - Настройка блока обработки, включение класса «Sohib».

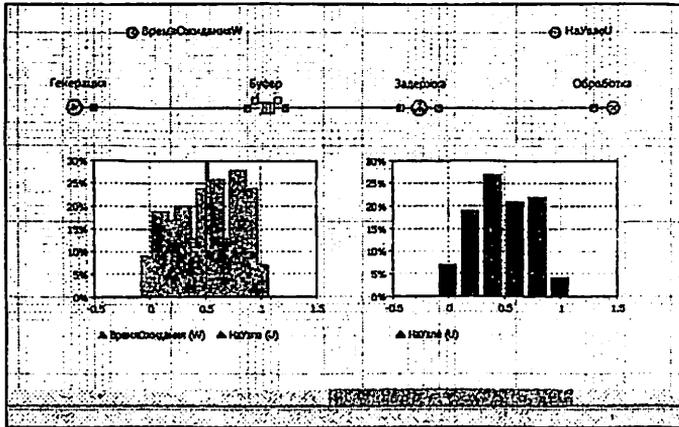


Рисунок 4.1.42 - Добавляем 2 гистограммы.

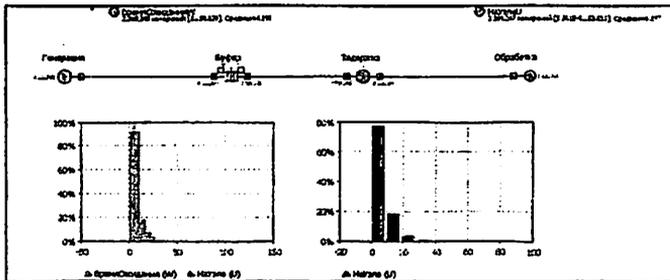


Рисунок 4.1.43 - Запуск имитационной модели

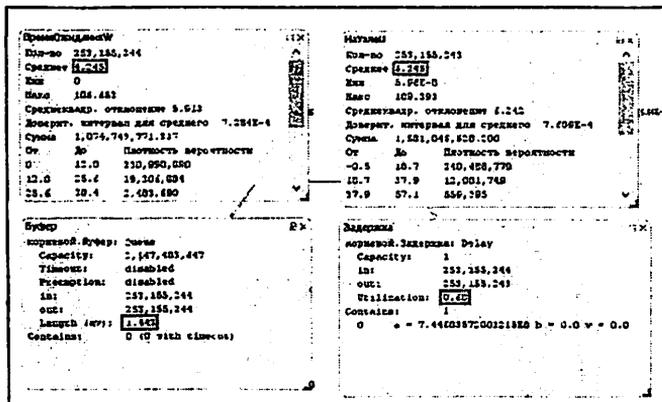


Рисунок 4.1.44 - Вывод необходимых данных

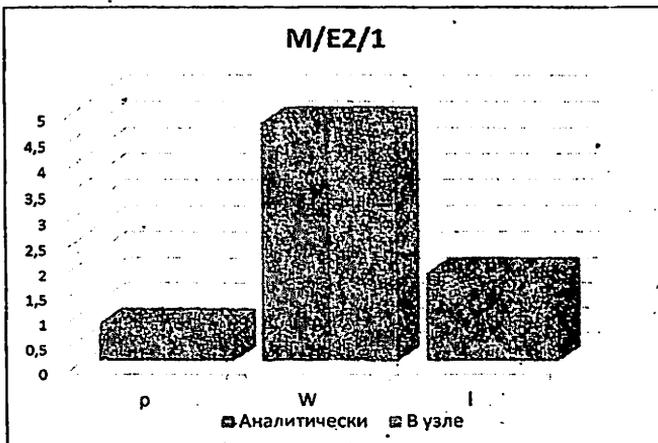
Таблица 4.1

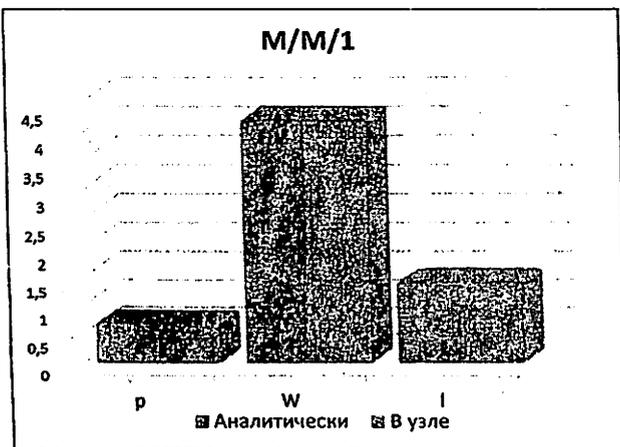
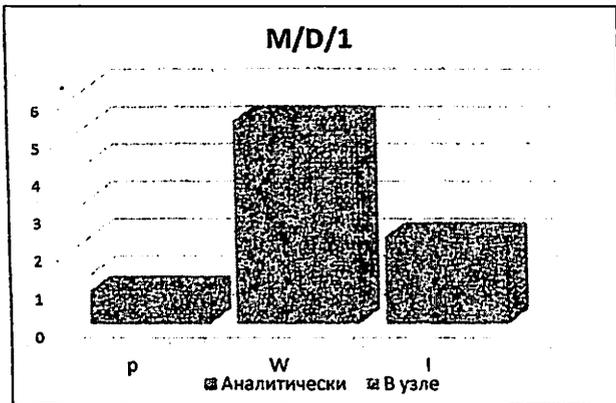
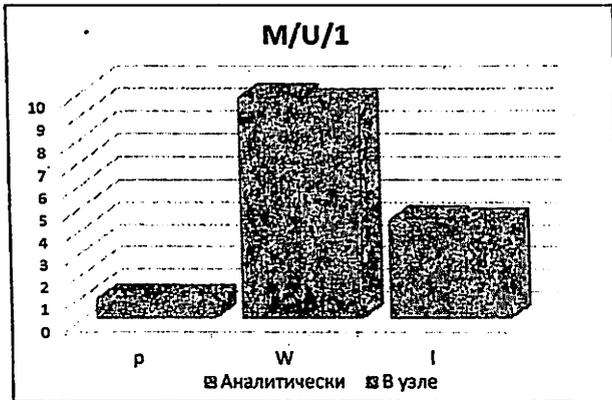
Сравнение данных аналитики и имитации по узлам. AnyLogic.

Характеристики узлов	1-узел	2-узел	3-узел	4-узел	Метод
	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1	M/M/1	
Нагрузка, ( $\rho$ )	0.757	0.907	0.843	0.680	Аналитический
	0.757	0.906	0.843	0.680	Имитационный
Среднее время ожидания заявок в очереди ( $W$ )	4.681	9.844	5.356	4.250	Аналитический
	4.685	9.587	5.353	4.245	Имитационный
Среднее время нахождения заявок на узле ( $U$ )	6.681	11.844	7.356	6.250	Аналитический
	6.685	11.586	7.353	6.245	Имитационный
Средняя длина очередей заявок ( $l$ )	1.773	4.463	2.257	1.445	Аналитический
	1.774	4.346	2.255	1.443	Имитационный

**Вывод:** Проведя оценку таблицы 4.1 можно сказать о том, что данные полученные путем имитации и аналитики схожи, некоторые параметры имеют небольшой разнос в пределах допустимых значений.

Графики полученных результатов, к таблице 4.1





## 4.2. Имитационная модель созданная с помощью программы AnyLogic, для описание обобщенной работы сети.



Рисунок 4.2.1 - Общая имитационная схема для всей сети

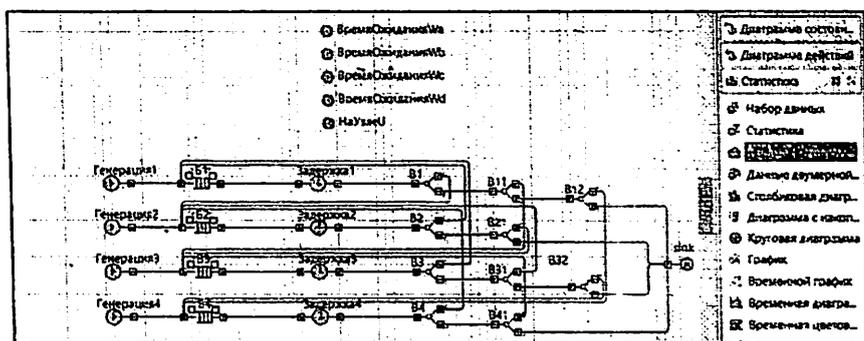


Рисунок 4.2.2 - Добавим вывод данных.

Значения для трансферов зависят от значений в таблице: «Матрица вероятности передачи пакета и топология сети» (в разделе «Задание для выполнения индивидуального проекта»). Значения вариации из таблицы будем заменять буквой « $P_n$ ». Вариация для каждого трансфера  $P_n^*$  вычисляется по следующим формулам. Значения в квадратных скобках указаны по рис. 4.2.1: .

$$\text{Трансфер №1: } P_1^* = P_1; \quad [B1]$$

$$\text{Трансфер №2: } P_2^* = \frac{P_2}{1-P_1}; \quad [B11]$$

$$\text{Трансфер №3: } P_3^* = \frac{P_3}{1-P_1-P_2}; \quad [B12]$$

$$\text{Трансфер №4: } P_4^* = \frac{P_4}{1-P_1-P_2-P_3};$$

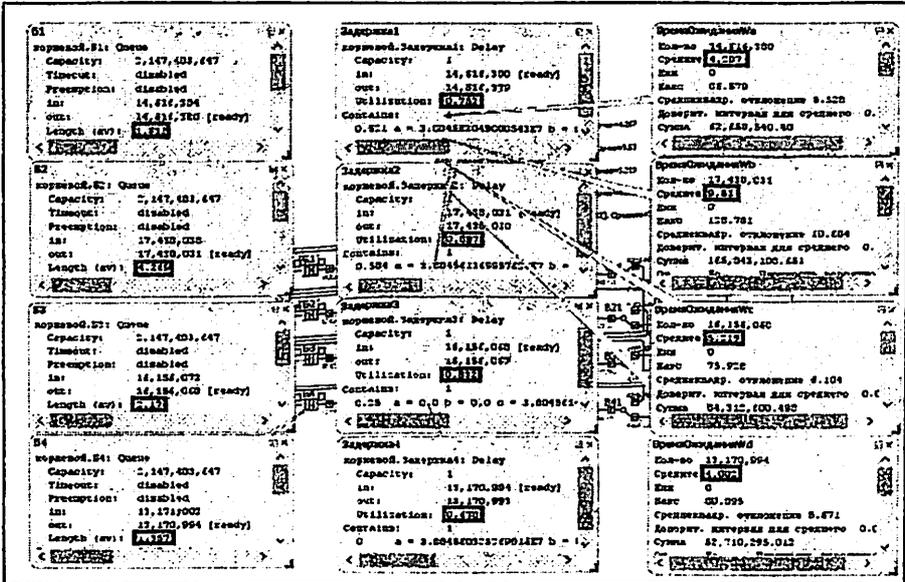


Рисунок 4.2.1 - Сбор полученных данных при имитации общего узла.

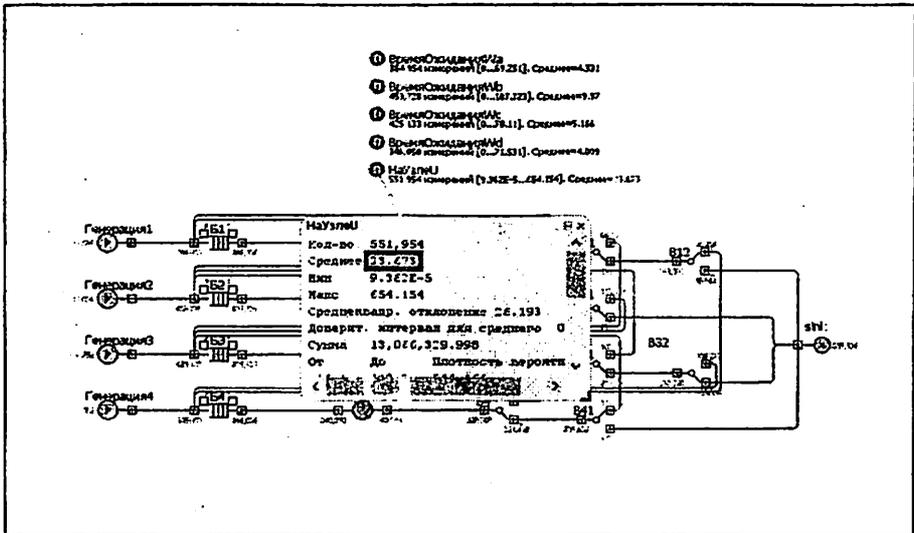


Рисунок 4.2.2 - Среднее время нахождения заявок в сети.

Таблица 4.2

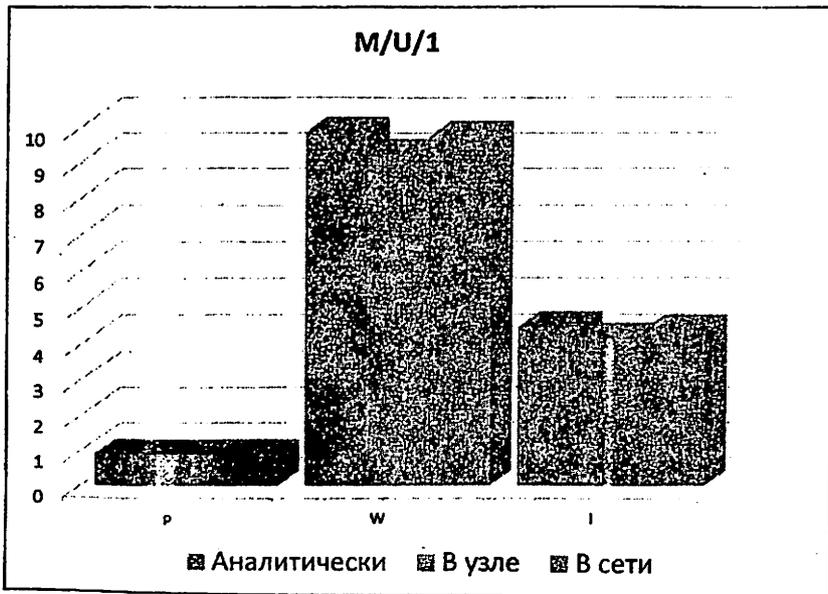
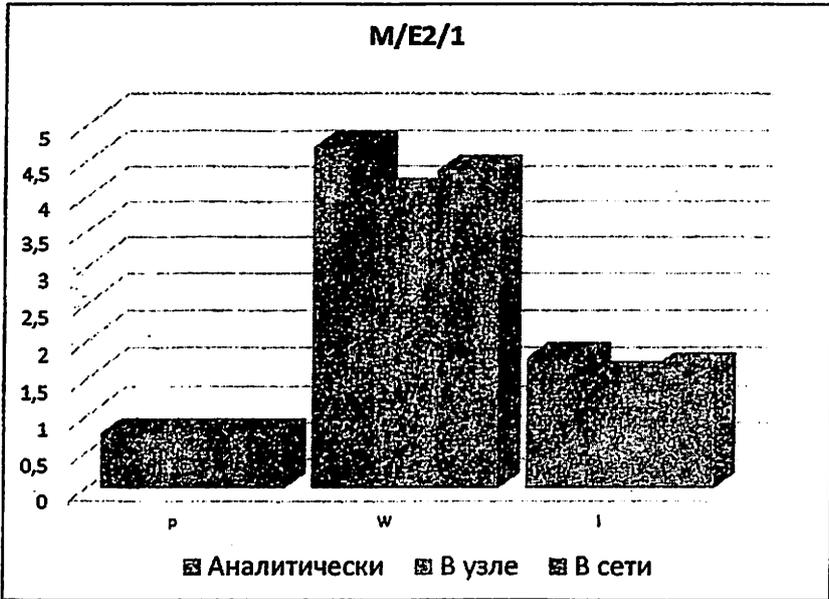
Сравнение данных при расчете всей сети, узлов по отдельности и расчете сети с помощью аналитического метода всей сети.

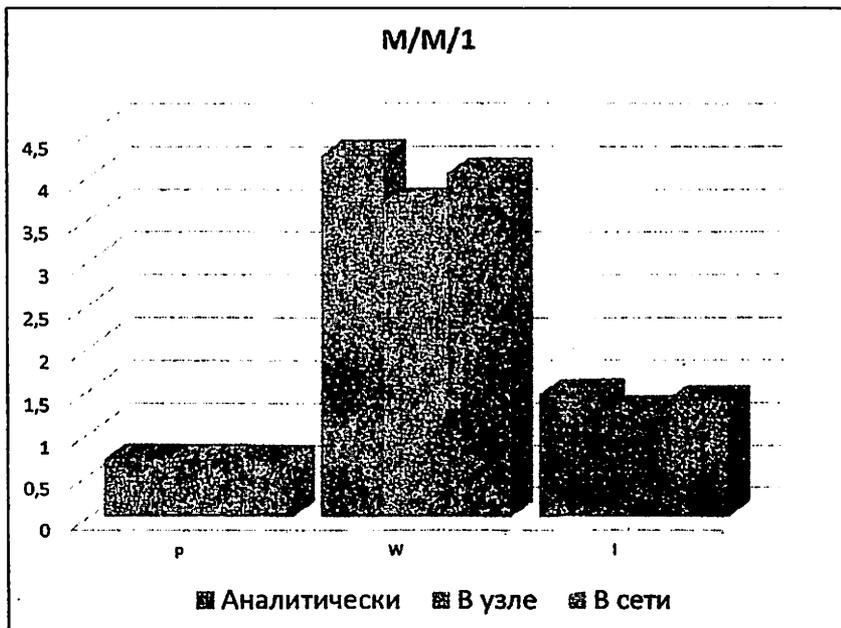
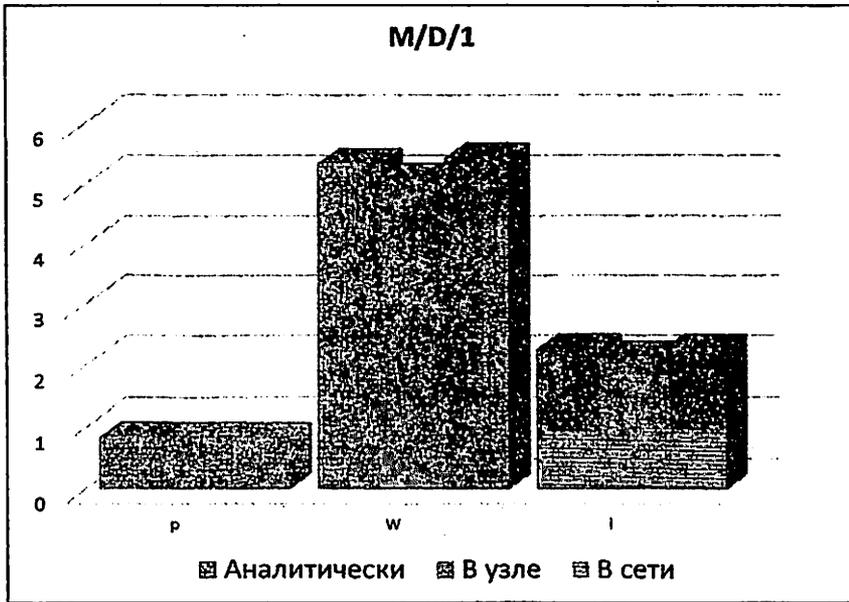
AnyLogic.

Характеристики узлов	1-узел	2-узел	3-узел	4-узел	Метод
	M/E <sub>2</sub> / 1	M/U/1	M/D/1	M/M/ 1	
Нагрузка, ( $\rho$ )	0.757	0.907	0.843	0.680	Аналитический
	0.757	0.906	0.843	0.680	Имитационный (узел)
	0.752	0.897	0.832	0.678	Имитационный (сеть)
Среднее время ожидания заявок в очереди ( $W$ )	4.681	9.844	5.356	4.250	Аналитический
	4.685	9.587	5.353	4.245	Имитационный (узел)
	4.287	9.51	5.219	4.002	Имитационный (сеть)
Средняя длина очередей заявок ( $l$ )	1.773	4.463	2.257	1.445	Аналитический
	1.774	4.346	2.255	1.443	Имитационный (узел)
	1.613	4.269	2.17	1.357	Имитационный (сеть)
Среднее время нахождения заявок на узле ( $U$ )	8.051				Аналитический
	23.673				Имитационный (сеть)

**Вывод:** Большой разнос параметра «U» – среднее время нахождения заявок на узле, обусловлен тем что, при имитации модели, данный параметр берет учет прохождения пакета по всей сети, а аналитический расчет подразумевает среднее время прохождения пакетов по сети.

Графики полученных результатов, к таблице 4.2





## 5. Имитационное моделирование в среде GPSS World

### 5.1. Имитационное моделирование каждого узла в пакетах одноканальной памяти с использованием программного обеспечения GPSS World.

#### 5.1.1. M/Ez/1 – аналитическое моделирование 1-го узла на основе математической модели.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.3787} = 2.64^1$$

```
VremyaOjidaniya_W QTable Uzel_1,15,15,10
NaUzle_U Table M1,3,15,10
Generate (Exponential (1,0,2.64^1))
Queue Uzel_1
Seize Erlang2
Depart Uzel_1
Advance (Exponential (2,0,1) +Exponential (3,0,1))
Release Erlang2
Tabulate NaUzle_U
Terminate 1
start 100000
```

Рисунок 5.1.1 - Ввод данных для 1-го узла. Ввод данных в Приложение № 3.

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
1		GENERATE	100004	0	0
2		QUEUE	100004	3	0
3		SEIZE	100001	1	0
4		DEPART	100000	3	0
5		ADVANCE	100000	0	0
6		RELEASE	100000	0	0
7		TABULATE	100000	0	0
8		TERMINATE	100000	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	ORDER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
ERLANG2	100001	0.756	2.002	1	100001	0	0	0	3

QUEUE	MAX COUNT	ENTRY	ENTRY (0)	AVE. COUNT	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY	
UZEL_1	22	4	100004	25103	1.319	4.021	5.369	0

TABLE	MEAN	STD. DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM. %
VREMIAOJIDANIYA_W	4.021	4.756	-	0		
			15.000		56154	56.15
			30.000		1770	59.92
			45.000		76	100.00
NAUZLE_U	5.023	4.928	-	0		
			3.000		32724	32.72
			18.000		64211	96.94
			33.000		2992	99.93
			48.000		73	100.00

Рисунок 5.1.2 - Результат симуляции 1-го узла.

1. Стабильные значения  $\tau$  для «Сепарата». Для каждого узла расчет идет отдельный.

5.1.2. M/U/1 – аналитическое моделирование 2-го узла на основе математической модели.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.4533} = 2.206$$

```
VremyaOjidaniya_W QTable Uzel_2,15,15,10
NaUzle_U Table M1,3,15,10
Generate (Exponential (1,0,2.206))
Queue Uzel_2
Seize Odnopitny
Depart Uzel_2
Advance (Uniform (2,1.995,2))
Release Odnopitny
Tabulate NaUzle_U
Terminate 1
start 100000
```

Рисунок 5.1.3 - Ввод данных 2-го узла. Приложение №3.

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT	COUNT	RETRY
	1	GENERATE	100001	0	0	
	2	QUEUE	100001	0	0	
	3	SEIZE	100001	1	0	
	4	DEPART	100000	0	0	
	5	ADVANCE	100000	0	0	
	6	RELEASE	100000	0	0	
	7	TABULATE	100000	0	0	
	8	TERMINATE	100000	0	0	

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	ORDER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
ODNOTIPNIY	100001	0.902	1.997	1	100001	0	0	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY	
UZEL_2	43	1	100001	9705	4.163	9.214	10.205	0

TABLE	MEAN	STD. DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM. %
VREMYAOJIDANIYA_W	9.214	9.937		0		
			15.000 -	15.000	80068	80.07
			30.000 -	30.000	13119	95.19
			45.000 -	45.000	3970	99.16
			60.000 -	60.000	561	99.72
			75.000 -	75.000	185	99.91
			90.000 -	90.000	94	100.00
NAUZLE_U	11.213	9.937		0		
			3.000 -	3.000	15336	15.34
			10.000 -	10.000	66616	81.95
			19.000 -	19.000	13605	95.64
			33.000 -	33.000	3825	99.26
			48.000 -	48.000	479	99.74
			63.000 -	63.000	176	99.92
			78.000 -	78.000	33	100.00

CEC	XN	PRI	HL	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
100001	0		311355.182	100001	3	4		

Рисунок 5.1.4 - Результат симуляции 2-го узла.

5.1.3. M/D/1 – аналитическое моделирование 1-го узла на основе математической модели.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.4213} = 2.3734$$

```
VremyaOjidaniya_W QTable Uzel_3,15,15,10
NaUzle_U Table M1,3,15,10
Generate (Exponential (1,0,2.3734))
Queue Uzel_3
Seize Determinirovaniy
Depart Uzel_3
Advance (2)
Release Determinirovaniy
Tabulate NaUzle_U
Terminate 1
start 100000
```

Рисунок 5.1.5 - Ввод данных 3-го узла. Приложение №3.

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT	COUNT	RETRY
	1	GENERATE	100000		0	0
	2	QUEUE	100000		0	0
	3	SEIZE	100000		0	0
	4	DEPART	100000		0	0
	5	ADVANCE	100000		0	0
	6	RELEASE	100000		0	0
	7	TABULATE	100000		0	0
	8	TERMINATE	100000		0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
DETERMINIROVANIY	100000	0.840	2.000	!		0	0	0	0

QUEUE	MAX	COUNT	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. COUNT	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
UZEL_3	25	0	100000	15996	2.144	5.107	6.075	0

TABLE	MEAN	STD. DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM. %
VREMYAOJIDANIYA_W	5.107	5.566		0		
			15.000 -	15.000	93404	93.40
			30.000 -	30.000	6300	99.70
			30.000 -	45.000	288	99.99
			45.000 -	60.000	8	100.00
NAUZLE_U	7.107	5.566		0		
			3.000 -	3.000	24415	24.42
			3.000 -	12.000	70059	94.48
			18.000 -	33.000	5314	99.79
			33.000 -	48.000	202	99.99
			48.000 -	63.000	6	100.00

SEC. NR	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
100001	0	238184.773	100001	0	!		

Рисунок 5.1.6 - Результат симуляции 3-го узла.

5.1.4. M/M/1 – аналитическое моделирование 4-го узла на основе математической модели.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.34} = 2.94$$

```
VremyaOjidaniya_W QTable
Uzel_4,15,15,10
NaUzle_U Table M1,3,15,10
Generate (Exponential (1,0,2.94))
Queue Uzel_4
Seize Markov
Depart Uzel_4
Advance (Exponential (2,0,2))
Release Markov
Tabulate NaUzle_U
Terminate 1
start 100000
```

Рисунок 5.1.7 - Ввод данных 4-го узла. Приложение №3.

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT	COUNT	RETRY
	1	GENERATE	100004	0	0	
	2	QUEUE	100004	3	0	
	3	SEIZE	100001	1	0	
	4	DEPART	100000	0	0	
	5	ADVANCE	100000	0	0	
	6	RELEASE	100000	0	0	
	7	TABULATE	100000	0	0	
	8	TERMINATE	100000	0	0	

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME AVAIL.	OWNER	WEND	INTER	RETRY	DELAY
MARKOV	100001	0.679	2.004	1	100001	0	0	0

QUEUE	MAX	COUNT	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. COUNT	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
UZEL_4	20	4	106004	32895	1.250	3.688	5.496	0

TABLE	MEAN	STD. DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM. %
VREMIAOJIDANIYA_W	3.688	4.950	-	0		
			15.000 -	15.000	55875	95.88
			30.000 -	30.000	3960	99.83
			45.000 -	45.000	157	99.99
			60.000 -	60.000	8	100.00
NAUZLE_U	5.692	5.334	-	0		
			3.000 -	3.000	39135	99.14
			18.000 -	18.000	5777	96.32
			33.000 -	33.000	3539	99.86
			48.000 -	48.000	135	99.99
			63.000 -	63.000	10	100.00

CES NH	FRI	M1	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
100001	0	295046.445	100001	3	4		

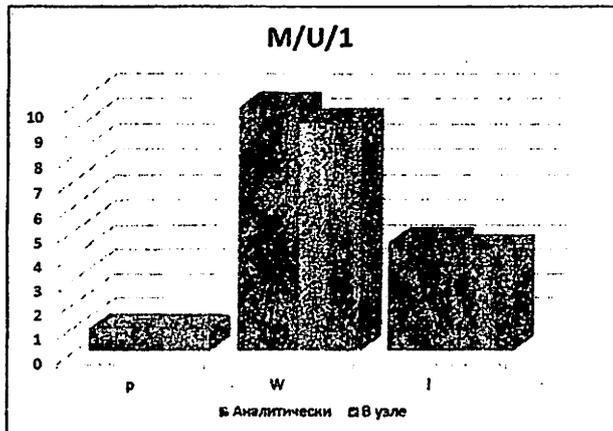
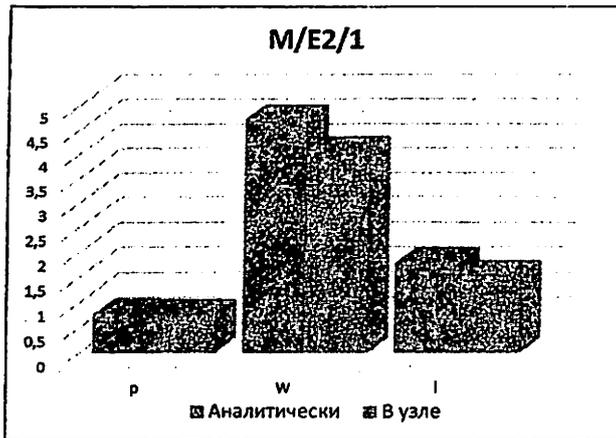
Рисунок 5.1.8 - Результат симуляции 4-го узла.

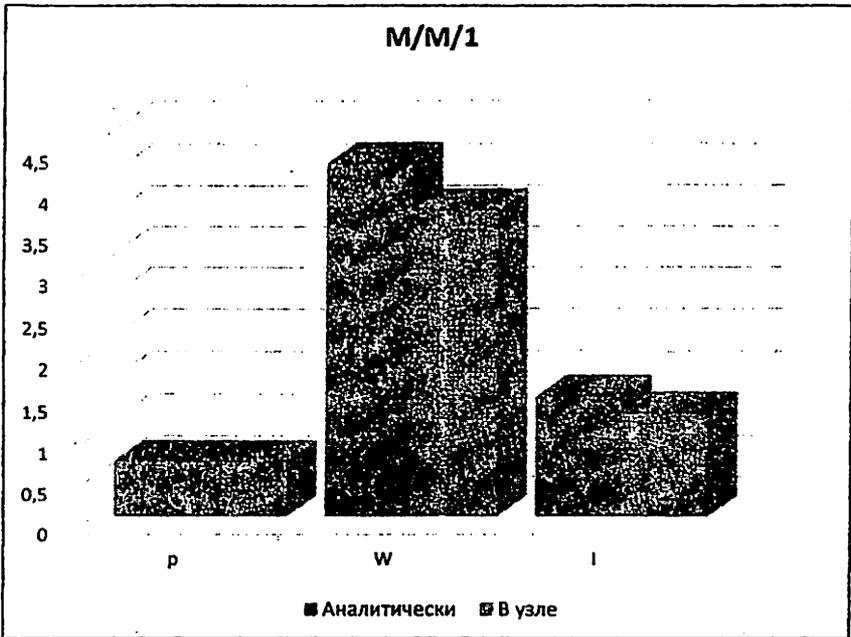
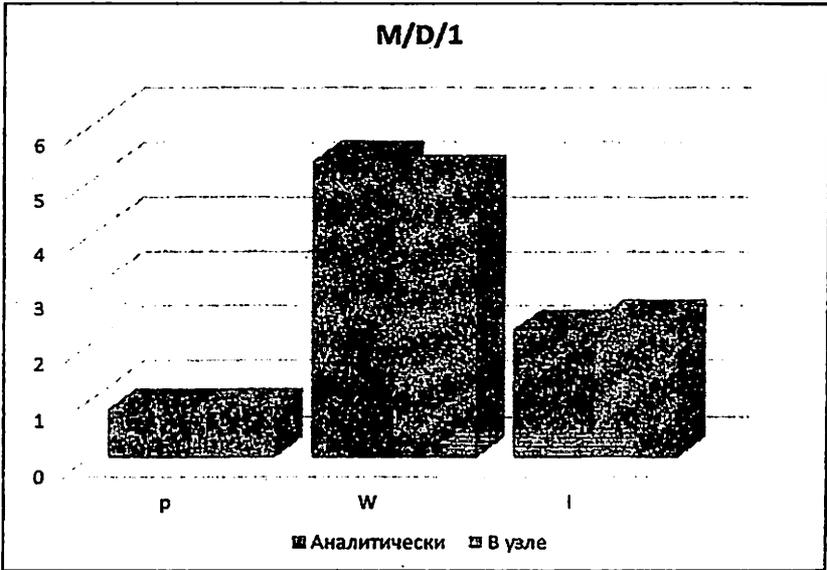
Таблица 5.1

Сравнение данных аналитики и имитации на GPSS World.

Характеристики Узлов	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1	M/M/1	Сравнение
Нагрузка, ( $\rho$ )	0.757	0.907	0.843	0.680	Аналитически
	0.756	0.902	0.840	0.679	Имитационно
Среднее время ожидания заявок в очереди ( $W$ )	4.681	9.844	5.356	4.250	Аналитически
	4.021	9.214	5.107	3.688	Имитационно
Среднее время нахождения заявок на узле ( $U$ )	6.681	11.844	7.356	6.250	Аналитически
	6.023	11.212	7.107	5.692	Имитационно
Средняя длина очередей заявок ( $I$ )	1.773	4.463	2.257	1.445	Аналитически
	1.518	4.162	2.44	1.250	Имитационно

Графики полученных результатов, к таблице 5.1





## 5.2. Имитационное моделирование общей сети в программной среде GPSS World.

<pre> TK_OV QTable ch_1,15,15,10 NaUzle_U Table M1,3,15,10 Generate (Exponential (1,0,6.26<sup>[2]</sup>)) Met_1 Queue Uzel_1       Seize Erlang2       Depart Uzel_1 Advance (Exponential (2,0,1) +Exponential (3,0,1))       Release Erlang2       Transfer .25,,Met_2       Transfer .33,,Met_3       Transfer .5,,Met_4       Transfer ,,Met_0       Tabulate NaUzle_U       Terminate 1 Generate (Exponential (1,0,7.14<sup>[2]</sup>)) Met_2 Queue Uzel_2       Seize Odnotipniy       Depart Uzel_2 Advance (Uniform (2,1.995,2))       Release Odnotipniy       Transfer .25,,Met_1       Transfer .33,,Met_3       Transfer ,,Met_0       Tabulate NaUzle_U           </pre>	<pre>       Terminate 1 Generate (Exponential (1,0,10<sup>[2]</sup>)) Met_3 Queue Uzel_3       Seize Determinirovaniy       Depart Uzel_3       Advance (2)       Release Determinirovaniy       Transfer .25,,Met_1       Transfer .33,,Met_2       Transfer .5,,Met_4       Transfer ,,Met_0       Tabulate NaUzle_U       Terminate 1 Generate (Exponential (1,0,7.14<sup>[2]</sup>)) Met_4 Queue Uzel_4       Seize Markov       Depart Uzel_4 Advance (Exponential (2,0,2))       Release Markov       Transfer .33,,Met_2       Transfer .5,,Met_3       Transfer ,,Met_0       Tabulate NaUzle_U Met_0 Terminate 1 start 100000           </pre>
---	---

Рисунок 5.2.1 - Ввод данных

<sup>2</sup> Подставляемые значения ( $\frac{1}{\gamma}$ ) для «Generate». Для каждого узла расчет идет отдельный, у каждого узла свое значение  $\gamma$ .

NET_4	36	GENERATE	23960	0	0						
	37	QUEUE	62692	0	0						
	38	SEIZE	62692	0	0						
	39	DEPART	62692	0	0						
	40	ADVANCE	62692	0	0						
	41	RELEASE	62692	0	0						
	42	TRANSFER	62692	0	0						
	43	TRANSFER	41681	0	0						
	44	TRANSFER	21214	0	0						
	45	TABULATE	21214	0	0						
NET_0	46	TERMINATE	21214	0	0						
FACILITY	ENTRIES	UZEI.	AVE. TIME	AVAIL.	ORDER	PEND	INSTR	RETRY	DELAY		
ERLANG2	69737	0.751	1.999	1	100000	0	0	0	0	3	
DETERMINIROVANIY	76922	0.829	2.000	1	0	0	0	0	0	4	
ODNOTIFNIY	93299	0.897	1.997	1	100003	0	0	0	0	4	
NARDOV	62692	0.676	2.001	1	0	0	0	0	0	0	
QUEUE	MAX	CONF.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE. CONF.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY			
CE_1	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0			
UZEI_1	28	3	69740	18318	1.636	4.353	5.904	0			
UZEI_3	26	0	76922	12757	2.257	5.445	6.527	0			
UZEI_2	36	4	83303	9092	4.367	9.729	10.921	0			
UZEI_4	27	0	62692	20849	1.364	4.038	6.049	0			
TABLE	MEAN	STD.DEV.		RANGE		RETRY	FREQUENCY	CUM.			
TK_OV	0.000	0.000				0					
NAUZEI_U	23.710	26.160				0					

Рисунок 5.2.2 - Результат симуляция общей схемы.

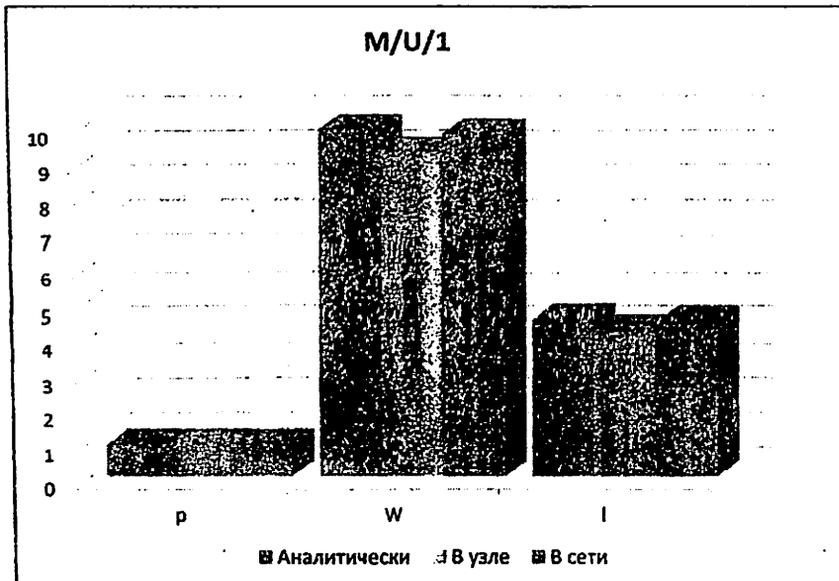
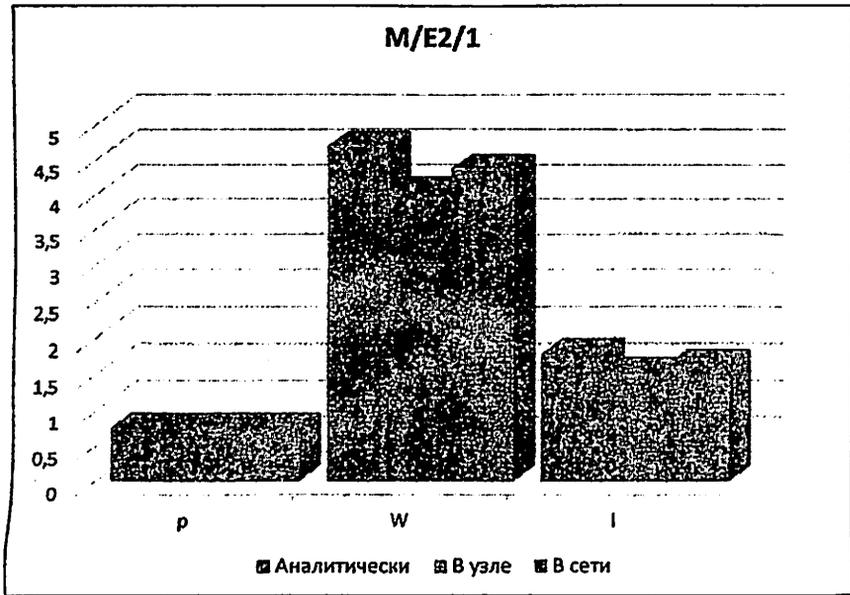
Таблица 5.2

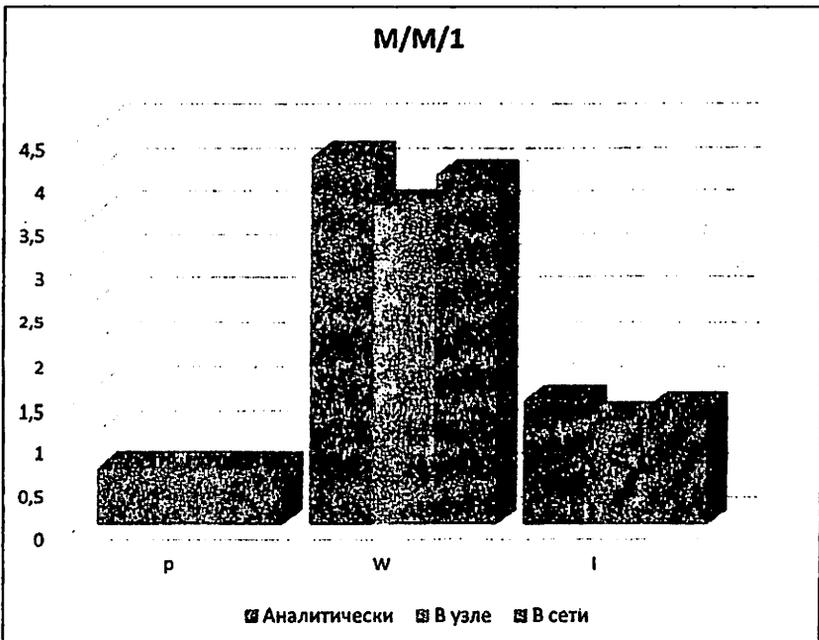
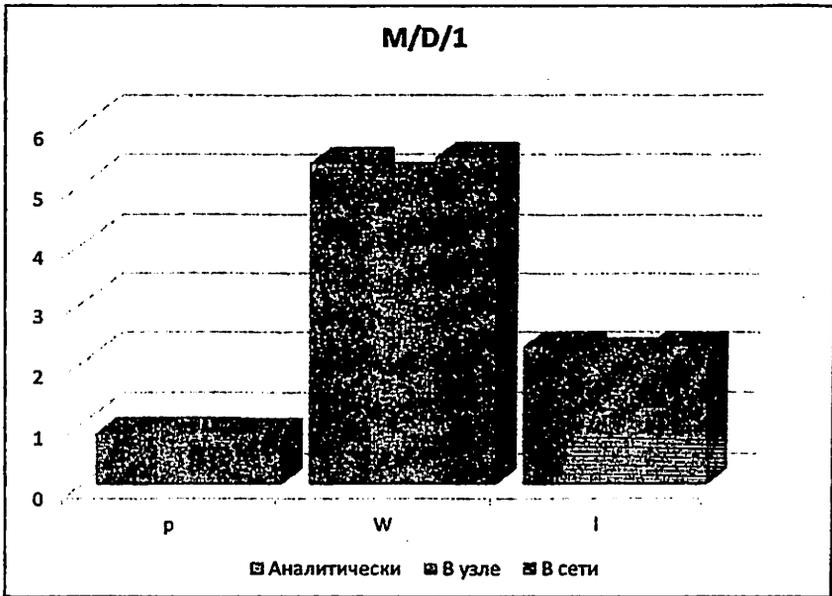
Сравнение данных при расчете всей сети, узлов по отдельности и расчете сети с помощью аналитического метода всей сети. GPSS World.

Характеристики Узлов	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1	M/M/1	Сравнение
Нагрузка, (ρ)	0.757	0.907	0.843	0.680	Аналитически
	0.756	0.902	0.840	0.679	Имитаци. узел
	0.751	0.897	0.829	0.676	Имитаци. сеть
Среднее время ожидания заявок в очереди (W)	4.681	9.844	5.356	4.250	Аналитически
	4.021	9.214	5.107	3.688	Имитаци. узел
	4.353	9.729	5.445	4.038	Имитаци. сеть
Средняя длина очередей заявок (l)	1.773	4.463	2.257	1.445	Аналитически
	1.518	4.162	2.144	1.250	Имитаци. узел
	1.63	4.367	2.257	1.364	Имитаци. сеть
Среднее время нахождения заявок на узле (U)	8.051				Аналитически
	23.710				Имитаци. сеть

**Вывод:** Большой разнос параметра «U» – среднее время нахождения заявок на узле, обусловлен тем что, при имитации модели, данный параметр берет учет прохождения пакета по всей сети, а аналитический расчет подразумевает среднее время прохождения пакетов по сети.

Графики полученных результатов, к таблице 5.2





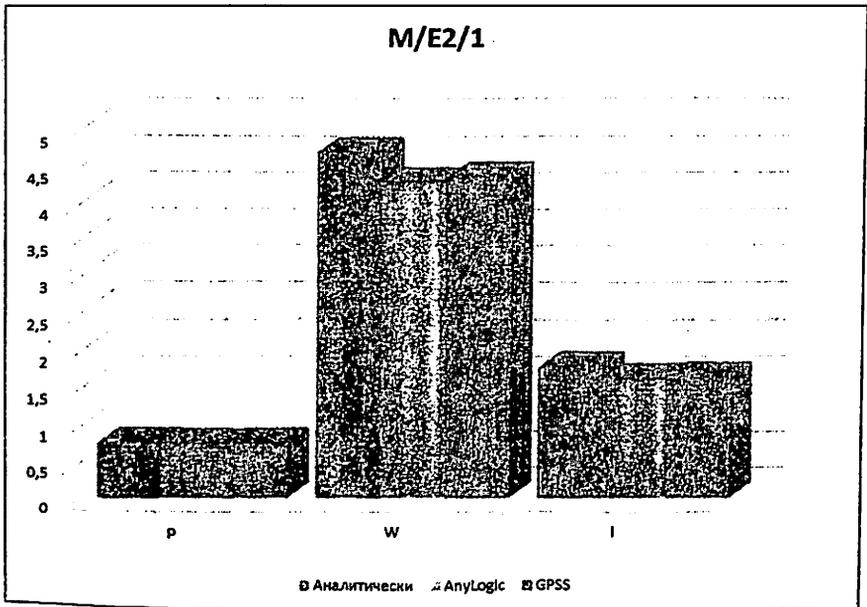
## 6. Сравнение полученных результатов

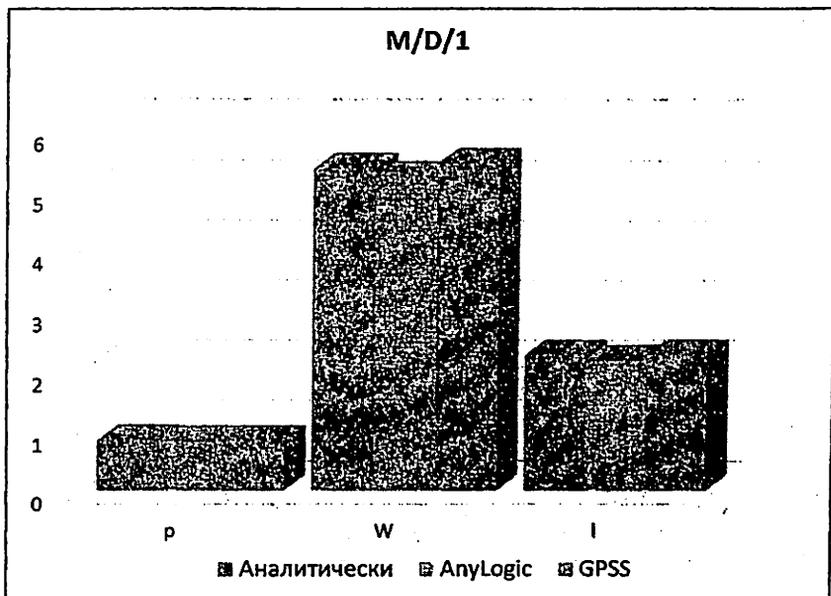
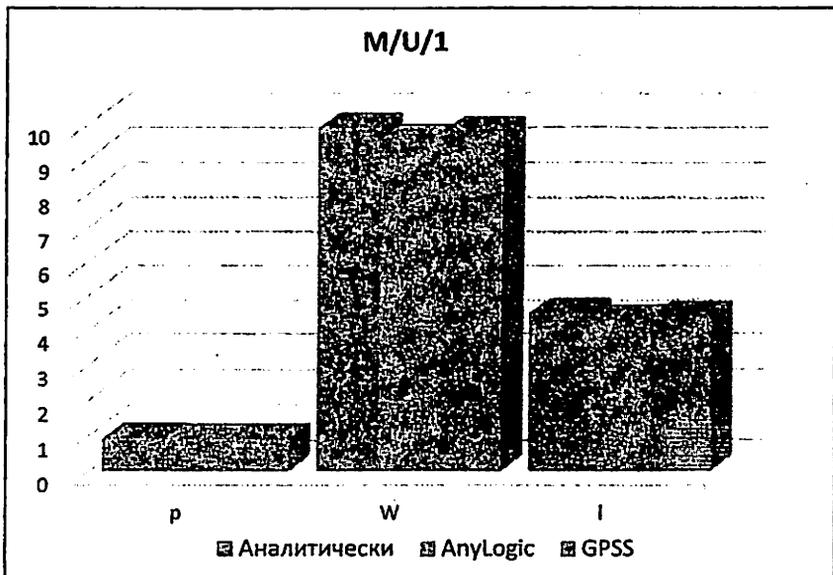
Таблица 6.1

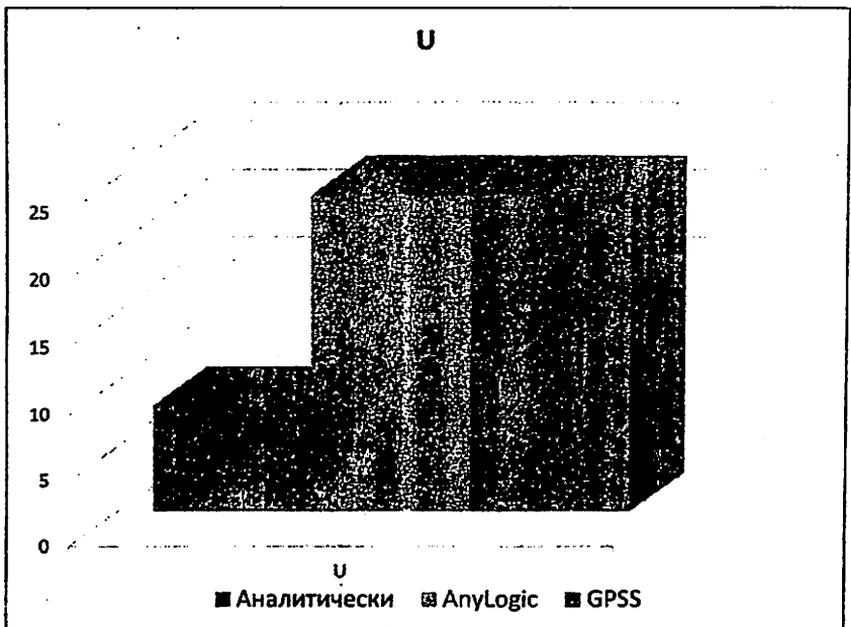
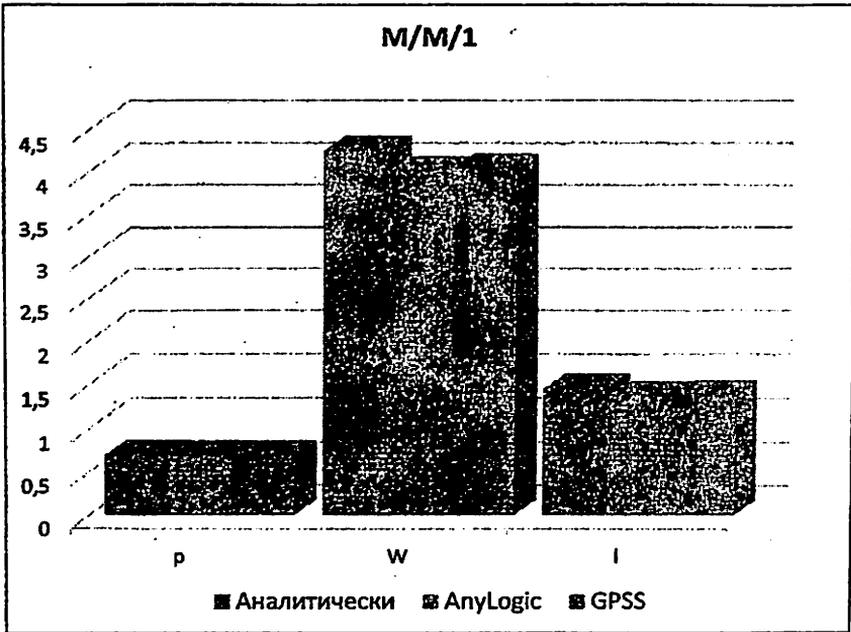
Данные полученные при аналитическом вычислении, имитационном, программном моделированиих всей сети

Характеристики Узлов	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1	M/M/1	Сравнение
Нагрузка, ( $\rho$ )	0,757	0,907	0,843	0,680	Аналитически
	0,752	0,897	0,832	0,678	AnyLogic
	0,751	0,897	0,829	0,676	GPSS
Среднее время ожидания заявок в очереди ( $W$ )	4,681	9,844	5,356	4,250	Аналитически
	4,287	9,51	5,219	4,002	AnyLogic
	4,353	9,729	5,445	4,038	GPSS
Средняя длина очередей заявок ( $L$ )	1,773	4,463	2,257	1,445	Аналитически
	1,613	4,269	2,17	1,357	AnyLogic
	1,63	4,367	2,257	1,364	GPSS
Среднее время нахождения заявок на узле ( $U$ )	8.051				Аналитически
	23.673				AnyLogic
	23.710				GPSS

Графики полученных результатов, к таблице 6.1







## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В основе исследования сложных систем с использованием математического моделирования лежит системный подход, конечной целью которого является системное проектирование, направленное на построение системы с заданным качеством. В свою очередь системное проектирование базируется на результатах системного анализа, позволяющего выявить причинно-следственные связи между параметрами и характеристиками исследуемой системы и реализуемого с использованием математических моделей, которые позволяют прогнозировать эффект, достигаемый при изменении структурно-функциональных параметров системы и параметров нагрузки.

Одним из основных требований, предъявляемых к модели, является ее *адекватность* реальной системе, которая достигается за счет использования моделей с различным уровнем детализации, зависящим от особенностей структурно-функциональной организации системы и целей исследования.

Процессы функционирования реальных систем практически невозможно описать полно и детально, что обусловлено существенной сложностью таких систем. Основная проблема при разработке модели состоит в нахождении компромисса между простотой ее описания, что необходимо для её исследования математическими методами, и необходимостью учета многочисленных особенностей, присущих реальной системе. Попытка построить единую универсальную модель сложной системы, несомненно, обречена на неудачу ввиду ее необозримости и невозможности расчета.

Моделирование технических систем в общем случае предполагает выполнение следующих основных этапов:

- формулировка целей моделирования;
- разработка концептуальной модели;
- разработка математической модели;
- параметризация модели;
- выбор методов моделирования;

- выбор средств моделирования;
- проверка адекватности модели (верификация модели);
- проведение экспериментов на модели (расчет характеристик);
- анализ результатов моделирования.

На этапе *определения и формулирования целей моделирования* определяется объект моделирования, формулируются задачи анализа и синтеза, выявляются наиболее важные характеристики, подлежащие исследованию, формулируются требования к качеству функционирования в виде ограничений, налагаемых на характеристики системы, и формулируется критерий эффективности, определяются требования к точности результатов моделирования и форме их представления. Основное *назначение концептуальной модели* – выявление наиболее существенных аспектов структурно-функциональной организации, учет которых необходим для получения требуемых результатов. В концептуальной модели обычно в словесной форме приводятся сведения о природе и параметрах элементарных явлений исследуемой системы, о степени их взаимодействия, выявляются параметры, оказывающие наиболее существенное влияние на исследуемые характеристики системы. Одна и та же система может представляться различными концептуальными моделями, которые строятся в зависимости от целей исследования, сформулированных на предыдущем этапе. Например, одна концептуальная модель может отображать временные аспекты функционирования системы, другая – надежность, третья – масса-габаритные аспекты построения системы. Концептуальная модель служит основой для разработки математической модели в терминах конкретного математического аппарата.

В данном индивидуальном проекте проведены расчеты параметров сети следующими способами:

1. Аналитический метод, другими словами математический, считается наиболее идеализированным методом расчета параметров сети.

Окончательные результаты подсчетов математическим методом приведены в таблицах № 2.

2. Имитационный метод расчета параметров сети с помощью имитационной среды AnyLogic. По итогам имитации, мы узнали, что можем вносить изменения в процессе имитации сети в данной среде. Результаты полученных данных путем имитации в среде AnyLogic были записаны в таблицу №6. По сравнению которых с аналитическим методом расчета, мы можем сделать вывод о том, что есть небольшие отклонения полученных результатов.

3. Имитационный метод расчета параметров сети с помощью имитационной среды GPSS. После проведения сравнительного анализа полученных данных при имитации сети в программной среде GPSS World, мы составили таблицу №8. По данным таблицы видно, отклонение данных полученных при аналитическом методе расчета сети и имитации сети в среде GPSS. В связи с этим мы можем сделать вывод о том, что имитационная модель субъективна к параметрам сети, т.е. в процессе имитации их изменять нельзя, в отличии от AnyLogic, в процессе имитации которого мы можем вносить свои изменения в определенные параметры сети. Поэтому данные полученные в процессе имитации в данной среде получили большее отклонение от данных полученных при расчете сети аналитическим методом.

- выбор средств моделирования;
- проверка адекватности модели (верификация модели);
- проведение экспериментов на модели (расчет характеристик);
- анализ результатов моделирования.

На этапе *определения и формулирования целей моделирования* определяется объект моделирования, формулируются задачи анализа и синтеза, выявляются наиболее важные характеристики, подлежащие исследованию, формулируются требования к качеству функционирования в виде ограничений, налагаемых на характеристики системы, и формулируется критерий эффективности, определяются требования к точности результатов моделирования и форме их представления. Основное *назначение концептуальной модели* – выявление наиболее существенных аспектов структурно-функциональной организации, учет которых необходим для получения требуемых результатов. В концептуальной модели обычно в словесной форме приводятся сведения о природе и параметрах элементарных явлений исследуемой системы, о степени их взаимодействия, выявляются параметры, оказывающие наиболее существенное влияние на исследуемые характеристики системы. Одна и та же система может представляться различными концептуальными моделями, которые строятся в зависимости от целей исследования, сформулированных на предыдущем этапе. Например, одна концептуальная модель может отображать временные аспекты функционирования системы, другая – надежность, третья – массо-габаритные аспекты построения системы. Концептуальная модель служит основой для разработки математической модели в терминах конкретного математического аппарата.

В данном индивидуальном проекте проведены расчеты параметров сети следующими способами:

1. Аналитический метод, другими словами математический, считается наиболее идеализированным методом расчета параметров сети.

Окончательные результаты подсчетов математическим методом приведены в таблицах № 2.

2. Имитационный метод расчета параметров сети с помощью имитационной среды AnyLogic. По итогам имитации, мы узнали, что можем вносить изменения в процессе имитации сети в данной среде. Результаты полученных данных путем имитации в среде AnyLogic были записаны в таблицу №6. По сравнению которых с аналитическим методом расчета, мы можем сделать вывод о том, что есть небольшие отклонения полученных результатов.

3. Имитационный метод расчета параметров сети с помощью имитационной среды GPSS. После проведения сравнительного анализа полученных данных при имитации сети в программной среде GPSS World, мы составили таблицу №8. По данным таблицы видно, отклонение данных полученных при аналитическом методе расчета сети и имитации сети в среде GPSS. В связи с этим мы можем сделать вывод о том, что имитационная модель субъективна к параметрам сети, т.е. в процессе имитации их изменять нельзя, в отличии от AnyLogic, в процессе имитации которого мы можем вносить свои изменения в определенные параметры сети. Поэтому данные полученные в процессе имитации в данной среде получили большее отклонение от данных полученных при расчете сети аналитическим методом.

**7. Варианты для выполнения индивидуального проекта.**  
**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ:** Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных

**Вариант №1**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.2	0.1	0.3	0.1	0	0	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/M/1	M/D/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	-	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однотипный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World и AnyLogic.

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №2**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.1	0.15	0.2	0.15	0	0	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1	M/M/1	M/U/1	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однитипный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №3**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.05	0.1	0.15	0.13	0	0	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1	M/M/1	-	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однотипный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

# ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных

## Вариант №4

### 1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

### 2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.05	0.2	0.15	0.1	0	0	0

### 3. Типы математических моделей узлов в сети:

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/U/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	M/M/1	-	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однопоточный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

# ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных

## Вариант №5

### 1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

### 2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.14	0.2	0.1	0.12	0	0	0

### 3. Типы математических моделей узлов в сети:

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/U/1	M/D/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/M/1	-	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E2 - 2 закон Эрланга; U - однотипный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №6**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.1	0.2	0.12	0.16	0	0	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/D/1	M/U/1	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E2 - 2 закон Эрланга; U - однотипный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

# ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных

## Вариант №7

### 1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

### 2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.15	0.05	0.1	0.05	0.04	0.06	0

### 3. Типы математических моделей узлов в сети:

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/U/1	M/U/1	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/M/1	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M - экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однотипный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

# ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных

## Вариант №8

### 1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

### 2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.15	0	0.1	0.15	0	0	0.1

### 3. Типы математических моделей узлов в сети:

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/E <sub>2</sub> /1	M/M/1	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U- однопоточный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №9**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.13	0.11	0.12	0.14	0	0	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/D/1	M/U/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/M/1	-	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однопоточный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

# ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных

## Вариант №10

### 1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

### 2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.12	0	0.12	0.16	0.1	0	0

### 3. Типы математических моделей узлов в сети:

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/D/1	M/U/1	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однопоточный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №11**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

Узлы ( <i>i, j</i> )	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	1/3	0	0	0	0
2	0	0	1/3	0	0	0	0
3	1/3	1/3	0	1/3	0	0	0
4	0	0	1/4	0	1/4	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 пакетов с узла «*i*» на узел «*j*»

Вероятность выхода пакетов из сети в «*i*» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.12	0.1	0	0	0.14	0.2	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/U/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однопотный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное  
моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №12**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.16	0	0.1	0.14	0	0	0.12

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	M/U/1

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однотипный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS, World или AnyLogic.

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №13**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0,14	0,12	0,1	0	0,1	0,05	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/E <sub>2</sub> /1	M/M/1	M/U/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E2 - 2 закон Эрланга; U - однопотный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное  
моделирование параметров сети передачи данных  
Вариант №14**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.14	0.12	0.1	0.16	0	0	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/U/1	M/M/1	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однопипный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное  
моделирование параметров сети передачи данных  
Вариант №15**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «*i*» на узел «*j*»

Вероятность выхода пакетов из сети в «*i*» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.1	0.14	0.12	0.16	0	0	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	M/U/1

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E2 - 2 закон Эрланга; U - однопоточный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №16**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «*i*» на узел «*j*»

Вероятность выхода пакетов из сети в «*i*» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.12	0.14	0.1	0	0	0.16	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/D/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E2 - 2 закон Эрланга; U - однитипный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №17**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.12	0.1	0.1	0	0	0.14	0.12

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/M/1	M/U/1	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	M/U/1

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однотипный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное  
моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №18**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.14	0.1	0.12	0.05	0.08	0.06	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/M/1	M/U/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/M/1	M/U/1	M/D/1	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однотипный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное  
моделирование параметров сети передачи данных  
Вариант №19**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

Узлы (i,j)	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1/3	0	0	1/4	0	0
2	1/4	0	1/4	1/4	1/4	0	0
3	0	1/3	0	1/3	0	0	0
4	0	1/4	1/4	0	1/4	1/4	0
5	1/4	1/8	0	1/8	0	1/4	0
6	0	0	0	1/3	1/4	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.14	0	0.12	0	0.1	0.14	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/U/1	M/D/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/M/1	M/U/1	M/D/1	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однотипный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное  
моделирование параметров сети передачи данных  
Вариант №20**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.14	0.12	0.1	0.12	0.1	0	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/E <sub>2</sub> /1	M/M/1	M/D/1	M/U/1	M/E <sub>2</sub> /1	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однопоточный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное  
моделирование параметров сети передачи данных  
Вариант №21**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.16	0.12	0.2	0.1	0	0	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	-	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однопоточный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное  
моделирование параметров сети передачи данных  
Вариант №22**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.12	0.14	0.16	0.12	0	0	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	M/D/1	M/U/1	M/M/1	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однопоточный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №23**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

Узлы (i,j)	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1/4	1/8	1/8	0	0	0
2	1/4	0	1/4	1/4	0	0	0
3	1/4	1/4	0	1/4	0	0	0
4	0	1/3	1/3	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.14	0.12	0.14	0.12	0	0	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/E <sub>2</sub> /1	M/M/1	M/D/1	M/U/1	-	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E2 - 2 закон Эрланга; U - однопоточный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное  
моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №24**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.1	0	0.14	0.12	0	0	0.16

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/D/1	M/M/1	M/U/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однотипный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

# ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных

## Вариант №25

### 1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

### 2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.12	0.18	0.12	0.16	0	0	0

### 3. Типы математических моделей узлов в сети:

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	M/U/1	M/M/1	-	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однотипный.

### 4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное  
моделирование параметров сети передачи данных  
Вариант №26**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с) $\gamma * 10^6$	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
	0.12	0.2	0.16	0.14	0	0	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/M/1	M/D/1	M/U/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	-	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однопоточный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №27**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.12	0.08	0.1	0.05	0.06	0.12	0

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/E <sub>2</sub> /1	M/U/1	M/D/1	M/M/1	M/D/1	M/M/1	-

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однопотный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №28**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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	1/3	0	0	0
3	1/4	0	0	0	1/4	0	0
4	0	1/2	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1/2
6	0	0	1/3	0	0	1/2	0
7	0	0	0	0	0	1/2	0

$P_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «*i*» на узел «*j*»

Вероятность выхода пакетов из сети в «*i*» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N P_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.12	0	0.14	0.16	0	0	0.14

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/U/1	M/M/1	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	M/U/1

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однотипный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**

**Вариант №29**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.13	0.09	0.12	0.13	0.12	0.13	0.14

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/U/1	M/M/1	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	M/U/1

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однопоточный.

**4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.**

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: Аналитическое и имитационное моделирование параметров сети передачи данных**  
**Вариант №30**

**1. Матрица вероятности передачи пакета и топология сети:**

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

$p_{ij}$  – Вероятность передачи пакетов с узла «i» на узел «j»

Вероятность выхода пакетов из сети в «i» - узел:  $P_i = 1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

**2. Вектор интенсивности входящего потока в узлы:**

Вектор интенсивности входящего потока в узлы (пакет/с)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.12	0.13	0.14	0.12	0.13	0.13	0.09

**3. Типы математических моделей узлов в сети:**

№	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Мат. модель	M/U/1	M/M/1	M/D/1	M/M/1	M/E <sub>2</sub> /1	M/D/1	M/U/1

Законы распределение времени обслуживания пакетов:

M – экспоненциальный (Марков); D - детерминированный; E<sub>2</sub> - 2 закон Эрланга; U - однопоточный.

4. Программа имитационного моделирования: GPSS World или AnyLogic.

# Приложение № 1

## Создание класса для вывода данных.

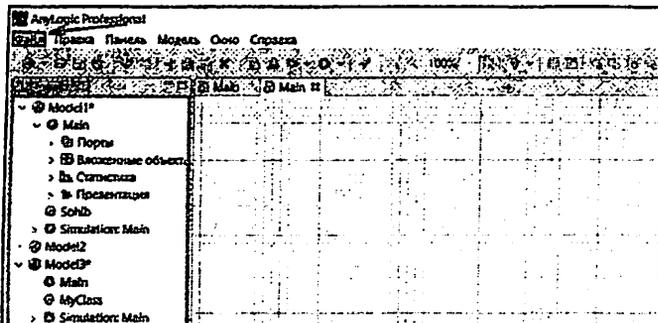


Рисунок 1. Открываем вкладку «Файл»

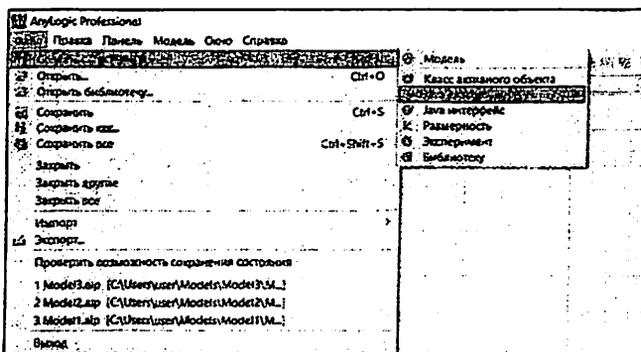


Рисунок 2. Далее жмем на «Создать» → «Java класс».

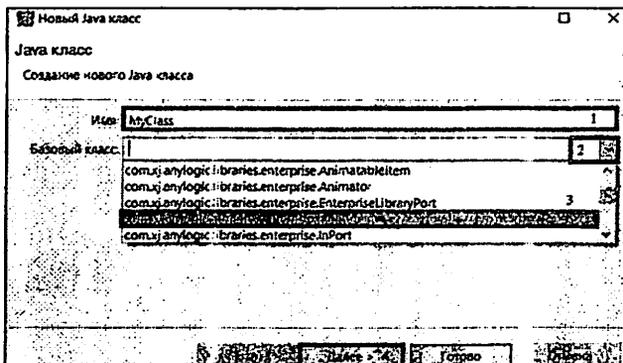


Рисунок 3. В открытом окне, пишем имя класса. жмешь кнопку «Далее».

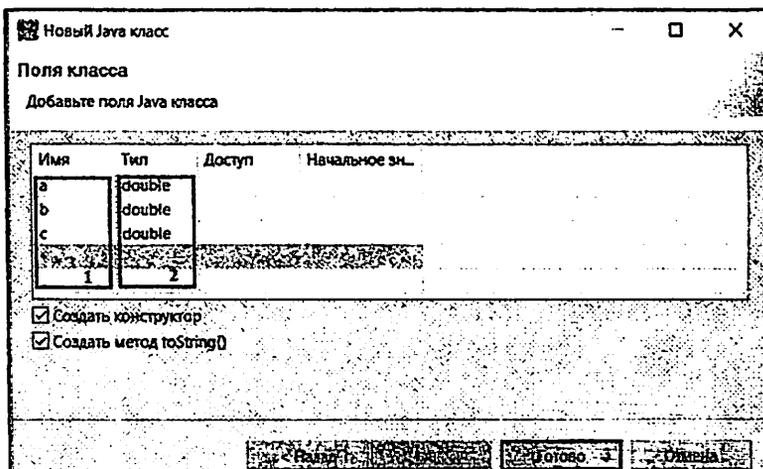


Рисунок 4. Задаем наименование переменной (1), задаем тип данных (2). Нажимаем «Готово».

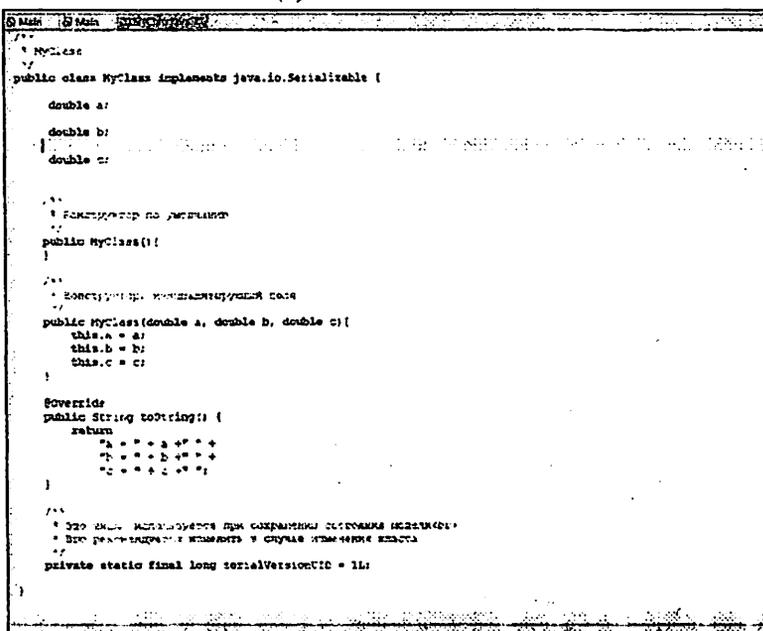


Рисунок 5. Класс «MyClass» готов к работе.

## Приложение № 2

Для блока задержки значение «Время задержки» будет зависеть от величины "b". Для каждой математической модели значение параметра «Время задержки», будет вычисляться и записываться по следующим формулам:

### 1. Модель M/E2/1: $b = 2$

Формула для значения «Время задержки»:

$$\text{Время задержки} = \text{exponential}(a) + \text{exponential}(a),$$

где значение «a», вычисляется по формуле:

$$a = \frac{2}{b}$$

### 2. Модель M/U/1: $b = 2$

Формула для значения «Время задержки»:

$$\text{Время задержки} = \text{uniform}(b-0.005, b)$$

### 3. Модель M/D/1: $b = 2$

Формула для значения «Время задержки»:

$$\text{Время задержки} = b$$

### 4. Модель M/M/1: $b = 2$

Формула для значения «Время задержки»:

$$\text{Время задержки} = \text{exponential}(a)$$

где значение «a», вычисляется по формуле:

$$a = \frac{1}{b}$$

### Приложение № 3

Для блока задержки значение «Advance» будет зависеть от величины "b". Для каждой математической модели значение параметра «Advance» будет вычисляться и записываться по следующим формулам:

#### 1. Модель M/ E2/1: $b = 2$

Формула для значения «Advance»:

$$\text{Advance (Exponential (2,0,a) + Exponential (3,0,a))}$$

где значение «a», вычисляется по формуле:

$$a = \frac{2}{b}$$

#### 2. Модель M/U/1: $b = 2$

Формула для значения «Advance»:

$$\text{Advance (uniform(2,b-0.005, b))}$$

#### 3. Модель M/D/1: $b = 2$

Формула для значения «Advance»:

$$\text{Advance (b)}$$

#### 4. Модель M/M/1: $b = 2$

Формула для значения «Advance»:

$$\text{Advance (exponential(2,0,b))}$$

### Список литературы

1. AnyLogic Tutorial. XJ Technologies : [электрон. ресурс]. Режим доступа : <http://www.xjtek.com>
2. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. - 363 с.
3. Боев В. Д. Компьютерное моделирование. Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic 7 // Санкт – Петербург 2014
4. Боев В.Д., Кирик Д.И., Сыпченко Р.П. Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования. -СПб: ВАС, 2011. -348с
5. Заборовский В.С., Ильяшенко А.С., Мулюха В.А. Имитационное моделирование телематических систем: Учебное пособие. СПб, 2014 год 23-34 сс.
6. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.: ил.
7. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями: Пер. с англ. –М.: Мир, 1979. -600 с.
8. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
9. Олифер Н.А., Олифер В.Г., Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Юбилейное издание СПб: Питер, 2022 – 1008 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Теоретические сведения .....	4
2. Исходные данные и задание для выполнения индивидуального проекта 23	
2.1. Исходные данные для выполнения индивидуального проекта .....	23
2.2. Задание для выполнения индивидуального проекта. Требования к содержанию и оформлению .....	24
3. Аналитический метод моделирования сети передачи данных.....	26
3.1. Топология сети и уравнение баланса.....	26
3.2. Формулы для расчета, коэффициент передачи узлов .....	33
3.3. Аналитическое моделирование .....	34
3.4. Аналитическое моделирование сети массового обслуживания. Определение характеристик сети.....	38
4. Имитационное моделирование в среде AnyLogic.....	41
4.1. Имитационное моделирование каждого узла в одноканальных сетях массового обслуживания без ограничения с помощью программного обеспечения AnyLogic. ....	41
4.2. Имитационная модель созданная с помощью программы AnyLogic, для описание обобщенной работы сети.....	59
5. Имитационное моделирование в среде GPSS World.....	64
5.1. Имитационное моделирование каждого узла в пакетах одноканальной памяти с использованием программного обеспечения GPSS World.....	64
5.2. Имитационное моделирование общей сети в программной среде GPSS World.....	70
6. Сравнение полученных результатов.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	77
7. Варианты для выполнения индивидуального проекта. ....	80
Приложение № 1 .....	110
Приложение № 2 .....	112
Приложение № 3 .....	113
Список литературы .....	114

Формат 60x84 1/16. Печ. лист 7,25.  
Заказ № 171. Тираж 15.  
Отпечатано в «Редакционно издательском»  
отделе при ТУИТ.  
Ташкент ул. Амир Темур, 108.