

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра систем информационной безопасности

212-2015

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовому проектированию по дисциплине
«Моделирование систем и сетей телекоммуникации»
для студентов специальности
090302 «Информационная безопасность
телекоммуникационных систем»,
очной формы обучения

Воронеж 2015

Составители: д-р техн. наук К. А. Разинкин, Д. А. Никулин

УДК 681.326

Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Моделирование систем и сетей телекоммуникации» для студентов специальности 090302 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» очной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. К. А. Разинкин, Д. А. Никулин. Воронеж, 2015. 58 с.

Методические указания предназначены для студентов третьего курса, выполняющих курсовое проектирование по моделированию систем и сетей телекоммуникации.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2013 и содержатся в файле Никулин_КП_МСиСТ.pdf.

Ил. 9. Библиогр.: 7 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. А. Г. Остапенко

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А. Г. Остапенко

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Основные понятия и определения

Слово «модель» (от лат. *modelium*) означает «мера», «способ», «сходство с какой-то вещью». Термин «модель» широко используется в различных сферах человеческой деятельности и имеет множество смысловых значений.

Модель – это объект или описание объекта, системы для замещения (при определенных условиях, предложениях, гипотезах) одной системы (т.е. оригинала) другой для лучшего изучения оригинала или воспроизведения каких-либо его свойств [1].

Модель – это результат отображения одной структуры (изученной) на другую (малоизученную).

Любая модель строится и исследуется при определенных допущениях, гипотезах. Модель должна строиться так, чтобы она наиболее полно воспроизводила те качества объекта, которые необходимо изучить в соответствии с поставленной целью [1].

Под *моделью* будем понимать некий материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе исследования замещает объект-оригинал так, что его непосредственное изучение дает новые знания об объекте-оригинале. Для одного и того же объекта могут существовать различные модели, классы моделей, соответствующие различным целям его изучения.

В области моделирования сетей и систем телекоммуникаций и средств их защиты чаще всего используются математические модели. *Математической моделью* будем называть совокупность понятий и отношений, выраженных при помощи системы математических символов и обозначений, которые отражают наиболее существенные (характерные) свойства изучаемого объекта (системы).

Применение математических методов при изучении

реально существующих или мыслимых систем будет эффективным, если свойства математической модели удовлетворяют требованиям. Рассмотрим основные из этих свойств [1,2].

Полнота математической модели позволяет отразить в достаточной мере именно те характеристики и особенности системы, которые интересуют нас с точки зрения поставленной цели проведения моделирования. Например, модель может достаточно полно описывать протекающие в системе процессы, но не отражать ее габаритные, массовые и стоимостные характеристики.

Экономичность математической модели оценивают затратами на вычислительные ресурсы, необходимые для проведения вычислительного эксперимента с математической моделью на компьютере.

Очевидно, что требования к экономичности, точности и адекватности математической модели противоречивы и на практике могут быть удовлетворены лишь на основе разумного компромисса.

Робастность математической модели характеризуется ее устойчивостью по отношению к погрешностям исходных данных, способностью нивелировать эти погрешности и не допускать их чрезмерного влияния на результат вычислительного эксперимента.

Продуктивность математической модели связана с возможностью располагать достаточно достоверными данными. Если они являются результатами измерений, то точность их измерений не должна быть ниже, чем для тех переменных, которые получаются при использовании математической модели. В противном случае математическая модель будет не продуктивной и ее применение для анализа конкретной системы теряет смысл.

1.2. Классификация моделей

В общем случае все модели, независимо от областей и сфер их применения, бывают трех типов [1-5]: познавательные, прагматические и инструментальные.

Познавательная модель – форма организации и представления знаний, средство соединения новых и старых знаний. Познавательная модель обычно подгоняется под реальность и является теоретической моделью.

Прагматическая модель – средство организации практических действий, рабочего представления целей системы для ее управления. Реальность в них подгоняется под некоторую прагматическую модель. Это, как правило, прикладные модели.

Инструментальная модель – средство построения, исследования и использования прагматических или познавательных моделей.

Познавательные отражают существующие, а прагматические – хоть и не существующие, но желаемые и, возможно, исполнимые отношения и связи.

Вся остальная классификация моделей выстраивается по отношению к объекту-оригиналу, методам изучения и т.п.

1.2.1. Классификация моделей по степени абстрагирования модели от оригинала

По степени абстрагирования от оригинала модели могут быть разделены на материальные (физические) и идеальные [1-5].

К **материальным** относятся такие способы, при которых исследование ведется на основе модели, воспроизводящей основные геометрические, физические, динамические и функциональные характеристики изучаемого объекта.

Основными разновидностями физических моделей являются [1-5]:

- натурные;

- квазинатурные;
- масштабные;
- аналоговые.

Натурные – это реальные исследуемые системы, которые являются макетами и опытными образцами. Натурные модели имеют полную адекватность с системой-оригиналом, что обеспечивает высокую точность и достоверность результатов моделирования; другими словами, модель натурная, если она есть материальная копия объекта моделирования.

Квазинатурные (от лат. «квази» – почти) – это совокупность натуральных и математических моделей. Этот вид моделей используется в случаях, когда математическая модель части системы не является удовлетворительной или когда часть системы должна быть исследована во взаимодействии с остальными частями, но их еще не существует либо их включение в модель затруднено или дорого.

Масштабные модели – это системы той же физической природы, что и оригинал, но отличающиеся от него размерами. В основе масштабных моделей лежит математический аппарат теории подобия, который предусматривает соблюдение геометрического подобия оригинала и модели и соответствующих масштабов для их параметров. Примером масштабного моделирования являются любые разработки макетов домов, а порой и целых районов, при проведении проектных работ при строительстве. Также масштабное моделирование используется при проектировании крупных объектов в самолетостроении и кораблестроении.

Аналоговое моделирование основано на аналогии процессов и явлений, имеющих различную физическую природу, но одинаково описываемых формально (одними и теми же математическими уравнениями, логическими схемами и т.п.). В качестве аналоговых моделей используются механические, гидравлические, пневматические системы, но наиболее широкое применение получили электрические и

электронные аналоговые модели, в которых сила тока или напряжение является аналогами физических величин другой природы.

Идеальное моделирование носит теоретический характер. Различают два типа идеального моделирования: интуитивное и знаковое.

Под **интуитивным** будем понимать моделирование, основанное на интуитивном представлении об объекте исследования, не поддающемся формализации либо не нуждающимся в ней. В этом смысле, например, жизненный опыт каждого человека может считаться его интуитивной моделью окружающего мира.

Знаковым называется моделирование, использующее в качестве моделей знаковые преобразования различного вида: схемы, графики, чертежи, формулы, наборы символов и т.д., включающие совокупность законов, по которым можно оперировать с выбранными знаковыми элементами. Знаковая модель может делиться на лингвистическую, визуальную, графическую и математическую модели.

Модель **лингвистическая**, если она представлена некоторым лингвистическим объектом, формализованной языковой системой или структурой. Иногда такие модели называют вербальными.

Модель **визуальная**, если она позволяет визуализировать отношения и связи моделируемой системы, особенно в динамике. Например, на экране компьютера часто пользуются визуальной моделью объектов, клавиатуры в программном тренажере по обучению работе на клавиатуре.

Модель **графическая**, если она представлена геометрическими образами и объектами.

Важнейшим видом знакового моделирования является **математическое** моделирование, классическим примером математического моделирования является описание и исследование основных законов механики И. Ньютона средствами математики.

Математические модели классифицируются по:

- принадлежности к иерархическому уровню;
- характеру отображаемых свойств объекта;
- способу представления свойств объекта;
- способу получения модели;
- форме представления свойств объекта;
- содержанию вероятностных компонентов.

По принадлежности к иерархическому уровню математические модели делятся на модели микроуровня, макроуровня, метауровня.

Математические модели на *микроуровне* процесса отражают физические процессы, протекающие, например, в полупроводниковых приборах. Они описывают процессы на уровне перехода (прохода).

Математические модели на *макроуровне* процесса описывают технологические процессы.

Математические модели на *метауровне* процесса описывают технологические системы (участки, цехи, предприятие в целом).

По характеру отображаемых свойств объекта модели можно классифицировать на структурные и функциональные.

Модель *структурная*, если она представлена структурой данных или структурами данных и отношениями между ними; например, структурной моделью может служить описание (табличное, графовое, функциональное или другое) трофической структуры экосистемы. В свою очередь структурная модель может быть иерархической или сетевой.

Модель *иерархическая* (древовидная), если представлена некоторой иерархической структурой (деревом); например, для решения задачи нахождения маршрута в дереве поиска можно построить древовидную модель.

Модель *сетевая*, если она представлена некоторой сетевой структурой. Модель *функциональная*, если она представлена в виде системы функциональных соотношений.

По способу представления свойств объекта модели делятся на аналитические, численные, алгоритмические и имитационные [1-5].

Аналитические математические модели представляют собой явные математические выражения выходных параметров как функций от параметров входных и внутренних и имеют единственные решения при любых начальных условиях. Например, квадратное уравнение, имеющее одно или несколько решений, будет аналитической моделью.

Модель будет *численной*, если она имеет решения при конкретных начальных условиях (дифференциальные, интегральные уравнения).

Модель *алгоритмическая*, если она описана некоторым алгоритмом или комплексом алгоритмов, определяющим ее функционирование и развитие. Введение данного типа моделей (действительно, кажется, что любая модель может быть представлена алгоритмом ее исследования) вполне обосновано, т.к. не все модели могут быть исследованы или реализованы алгоритмически. Например, моделью вычисления суммы бесконечного убывающего ряда чисел может служить алгоритм вычисления конечной суммы ряда до некоторой заданной степени точности. Алгоритмической моделью корня квадратного из числа X может служить алгоритм вычисления его приближенного, сколь угодно точного значения по известной рекуррентной формуле.

Модель *имитационная*, если она предназначена для испытания или изучения возможных путей развития и поведения объекта путем варьирования некоторых или всех параметров модели.

По способу получения модели делятся на теоретические и эмпирические. *Теоретические* математические модели создаются в результате исследования объектов (процессов) на теоретическом уровне.

Эмпирические математические модели создаются в результате проведения экспериментов (изучения внешних проявлений свойств объекта с помощью измерения его

параметров на входе и выходе) и обработки их результатов методами математической статистики.

По форме представления свойств объекта модели делятся на логические, теоретико-множественные и графовые.

Модель *логическая*, если она представлена предикатами, логическими функциями, например, совокупность двух логических функций может служить математической моделью одноразрядного сумматора.

Модель *теоретико-множественная*, если она представлена с помощью некоторых множеств и отношений принадлежности к ним и между ними.

Модель *графовая*, если она представлена графом или графами и отношениями между ними.

По содержанию вероятностных компонентов модели делятся на детерминированные и стохастические.

Если модель не содержит вероятностных (стохастических) компонентов, она называется *детерминированной*.

Однако множество систем моделируются с несколькими случайными входными величинами, в результате чего создается *стохастическая (вероятностная)* модель. Стохастические модели выдают результат, который является случайным сам по себе, и поэтому он может рассматриваться как оценка истинных характеристик модели [5].

1.2.2. Классификация моделей по степени устойчивости

Все модели могут быть разделены на устойчивые и неустойчивые.

Устойчивой является такая система, которая, будучи выведена из своего исходного состояния, стремится к нему. Она может колебаться некоторое время около исходной точки подобно обычному маятнику, приведенному в движение, но возмущения в ней со временем затухают и исчезают.

В *неустойчивой* системе, находящейся первоначально в состоянии покоя, возникшее возмущение усиливается, вызывая

увеличение значений соответствующих переменных или их колебания с возрастающей амплитудой.

1.2.3. Классификация моделей по отношению к внешним факторам

По отношению к внешним факторам модели могут быть разделены на открытые и замкнутые.

Замкнутой моделью является модель, которая функционирует вне связи с внешними (экзогенными) переменными. В замкнутой модели изменения значений переменных во времени определяются внутренним взаимодействием самих переменных. Замкнутая модель может выявить поведение системы без ввода внешней переменной. Пример: информационные системы с обратной связью являются замкнутыми системами. Это самонастраивающиеся системы, и их характеристики вытекают из внутренней структуры и взаимодействий, которые отражают ввод внешней информации.

Модель, связанная с внешними (экзогенными) переменными, называется **открытой**.

1.2.4. Классификация моделей по отношению ко времени

Существуют две классификации моделей по отношению к временному фактору.

Модели могут быть:

- непрерывными или дискретными;
- статическими или динамическими.

Непрерывная модель описывает систему во времени с помощью представления, в котором переменные состояния меняются непрерывно по отношению ко времени. Примером непрерывной модели является сложная система дифференциальных уравнений, которые устанавливают отношения для скоростей изменения переменных состояния во времени. В **дискретной** модели значения переменных можно

определить только в конкретные моменты времени [1].

По отношению к временному фактору модели делятся на динамические и статические.

Статическая модель в каждый момент времени дает лишь «фотографию» системы, ее временной срез. Одним из видов статических моделей являются структурные модели.

Динамической моделью называется модель, если среди ее параметров есть временной параметр, т.е. она отображает систему (процессы в системе) во времени.

1.3. Этапы разработки модели

Процесс моделирования имеет итерационный характер, проводится в рамках ранее сформулированных целей и с соблюдением границ моделирования. Построение начинается с изучения (обследования) реальной системы, ее внутренней структуры и содержания взаимосвязей между ее элементами, а также внешних воздействий, и завершается разработкой модели.

Моделирование – от постановки задачи до получения результатов – проходит следующие этапы.

Этап I. Анализ требований и проектирование.

Данный этап включает:

1. Постановку и анализ задачи и цели моделирования.
2. Сбор и анализ исходной информации об объекте моделирования.
3. Построение концептуальной модели.
4. Проверку достоверности концептуальной модели.

Этап II. Разработка модели, включает:

1. Выбор среды моделирования.
2. Составление логической модели.
3. Назначение свойств модулям модели.
4. Задание модельного времени.
5. Верификация модели.

Этап III. Проведение эксперимента, включает:

1. Запуск модели, прогон модели.
2. Варьирование параметров модели и сбор статистики.
3. Анализ результатов моделирования.

Заключительный этап – *подведение итогов моделирования согласно поставленной цели и задачи моделирования.*

Схема этапов моделирования представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема этапов моделирования

1.4. Типовые математические схемы моделирования

В процессе создания математической модели, реализуемой на компьютере, происходит переход от содержательного описания к формальному алгоритму. Промежуточным звеном между ними может служить **математическая схема**. Существует ряд типовых математических схем, которые могут лечь в основу

разрабатываемого конкретного моделирующего алгоритма.

К ним относятся следующие схемы (модели) [2,3]:

- непрерывно-детерминированные модели (D-схемы);
- дискретно-детерминированные модели (F-схемы);
- дискретно-стохастические модели (P-схемы);
- непрерывно-стохастические модели (Q-схемы).

К непрерывно-детерминированным моделям относятся модели, описываемые системами обыкновенных дифференциальных уравнений или уравнений в частных производных. В качестве независимой переменной, от которой зависят неизвестные искомые функции, обычно служит время. Тогда вектор-функция искомых переменных будет непрерывной. Математические схемы такого вида отражают динамику изучаемой системы и поэтому называются D-схемами (англ. dynamic).

К дискретно-детерминированным моделям относятся так называемые конечные автоматы. Автомат можно представить как некоторое устройство, на которое подаются входные сигналы и снимаются выходные и которое может иметь некоторые внутренние состояния. У конечного автомата множество входных сигналов и внутренних состояний является конечным множеством. Название F-схема происходит от английских слов finite automata.

К дискретно-стохастическим моделям относятся вероятностные (стохастические) автоматы или по-английски probabilistic automat. Отсюда название – P-схема. В общем виде вероятностный автомат можно определить как дискретный потактный преобразователь информации с памятью, функционирование которого в каждом такте зависит только от состояния памяти в нем и может быть описано стохастически.

2. ЦЕЛИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Целью курсового проектирования является закрепление студентами навыков по моделированию систем и сетей телекоммуникации.

В процессе выполнения курсового проекта студенты моделируют систему или сеть с помощью одного из основных способов математического и программного моделирования.

Задания на проектирование указаны в соответствующих разделах данных методических указаний. В ходе выполнения курсового проекта студенты должны приобрести необходимые практические навыки по основным методам моделирования систем и сетей телекоммуникации и закрепить на практике знания, полученные в лекционном курсе.

3. ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Рассмотрим ход выполнения курсового проекта на примере следующей системы.

В коммутационную систему А поступают сообщения в среднем через 9 мс. Передача сообщений из системы А производится по одному из двух каналов А1 и А2 в систему В: А1 канал передаёт сообщение в среднем 10 мс и имеет до 1% сообщений переданных с ошибкой, А2 – соответственно 8 мс и 2% ошибок.

Все ошибочные сообщения возвращаются на повторную передачу по второму каналу. Сообщения, переданные с ошибками три раза, считаются потерянными. Все интервалы времени распределены по экспоненциальному закону.

Смоделировать передачу 100000 сообщений. Определить загрузку каналов и вероятность появления потерь.

Построение модели следует начать с построения структурной схемы. Это в дальнейшем поможет построить блок-схему алгоритма функционирования системы.

Рассмотрим предложенную систему с точки зрения СМО. В систему поступают сообщения из одного источника, обслуживание каждой заявки производится любым из свободных каналов. Также отметим, что сообщения, переданные с ошибкой передаются повторно по первому каналу, т.к. он работает немного надежнее. Чтобы оценить возможность задержки требований из-за занятости обоих каналов предусмотрим буфер, емкость которого ограничивать не будем. Исходя из проведенного анализа и сделанных допущений можно построить структурную схему распределенного банка данных, изображенную на рис. 2.

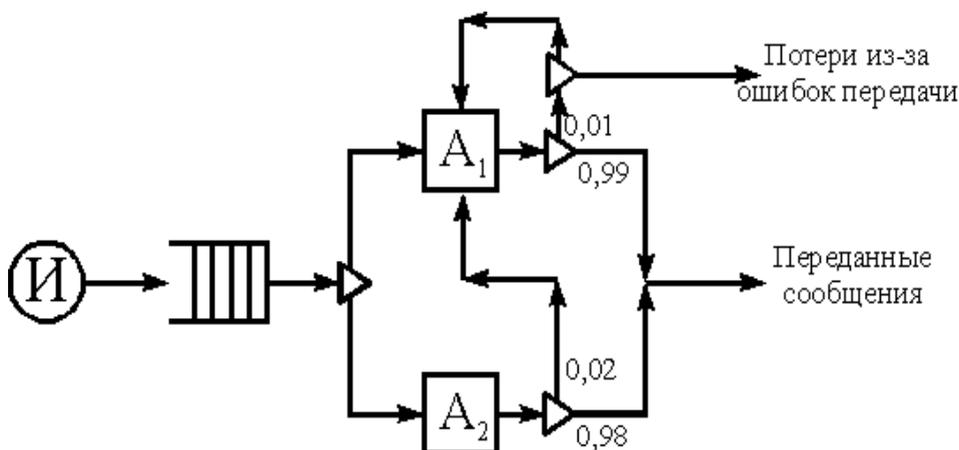


Рис. 2. Структурная схема системы

На структурной схеме прямоугольниками обозначены каналы передачи сообщений – A₁, A₂; И – источник сообщений, поступающих в пункт А. Стрелочками указаны направления движения информационных запросов.

3.1. Блок-схема алгоритма функционирования системы

На рис. 3 показана блок-схема работы системы. Алгоритм работы системы строится «на языке транзакта», т.е. рассматривается процесс прохождения всего процесса обслуживания с точки зрения одного сообщения от момента его появления в системе до его удаления. В зависимости от того, в какой момент времени появилось сообщение, и в каком состоянии находилась в тот момент система, сообщение передвигается по той или другой ветке алгоритма.

Появившееся в системе сообщение считается не имеющим ошибок (блок 2) и в параметр P1 записывается 0. Если после передачи в сообщении обнаруживается ошибка, то этот параметр увеличивается на единицу, а сообщение передается заново по каналу A₁ (блоки 14 или 23). Когда параметр становится равным 3, сообщение считается потерянным (блоки 12 и 13, или 21 и 22).

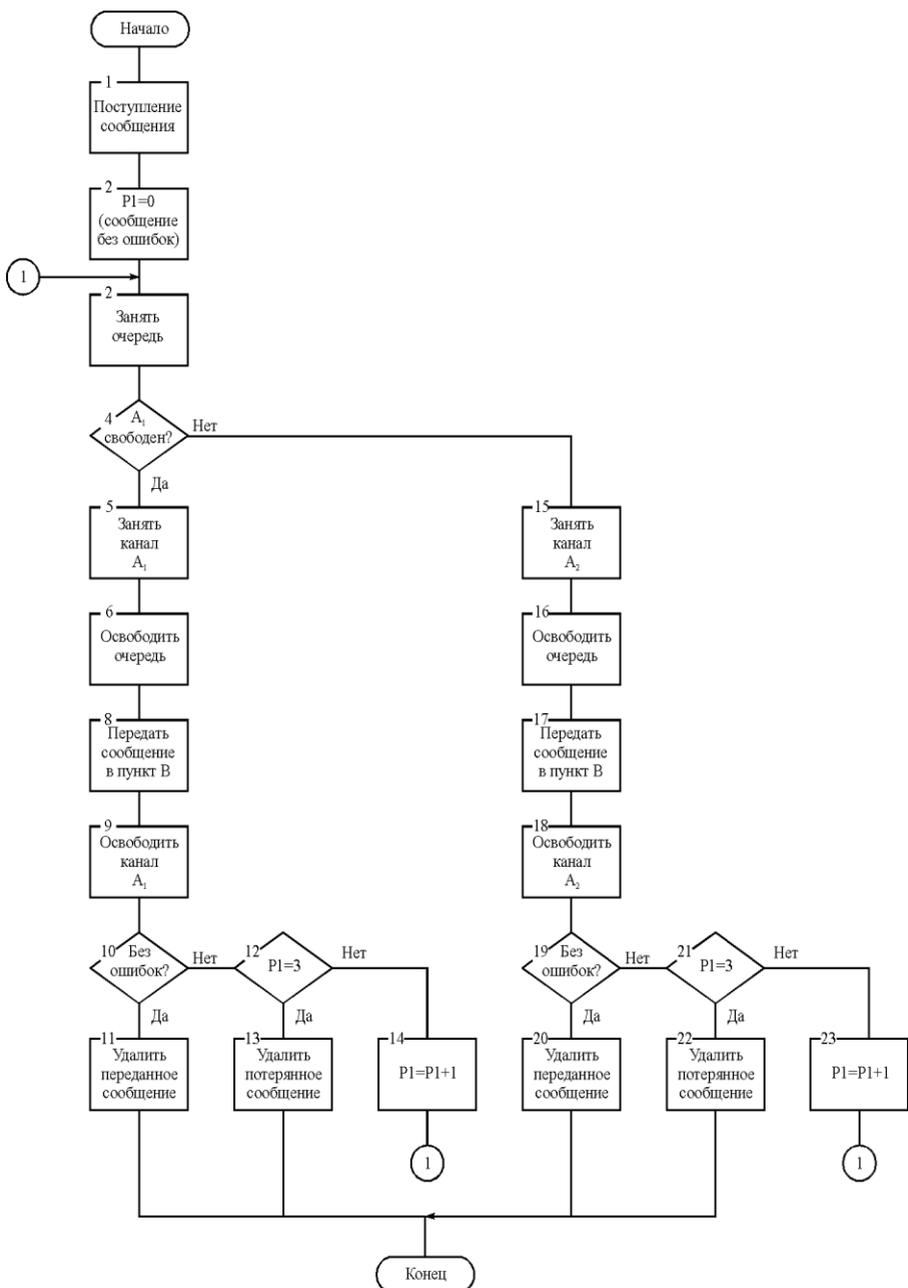


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы системы

После того, как блок-схема модели построена, необходимо составить блок-диаграмму.

3.2. Блок-диаграмма GPSS-модели

Блок-диаграмма GPSS-модели приведена на рис. 4. По своей конфигурации блок-диаграмма очень похожа на блок-схему алгоритма работы системы, но в ней все блоки заменены блоками языка GPSS, которые заменяют соответствующие процессы в имитационной модели.

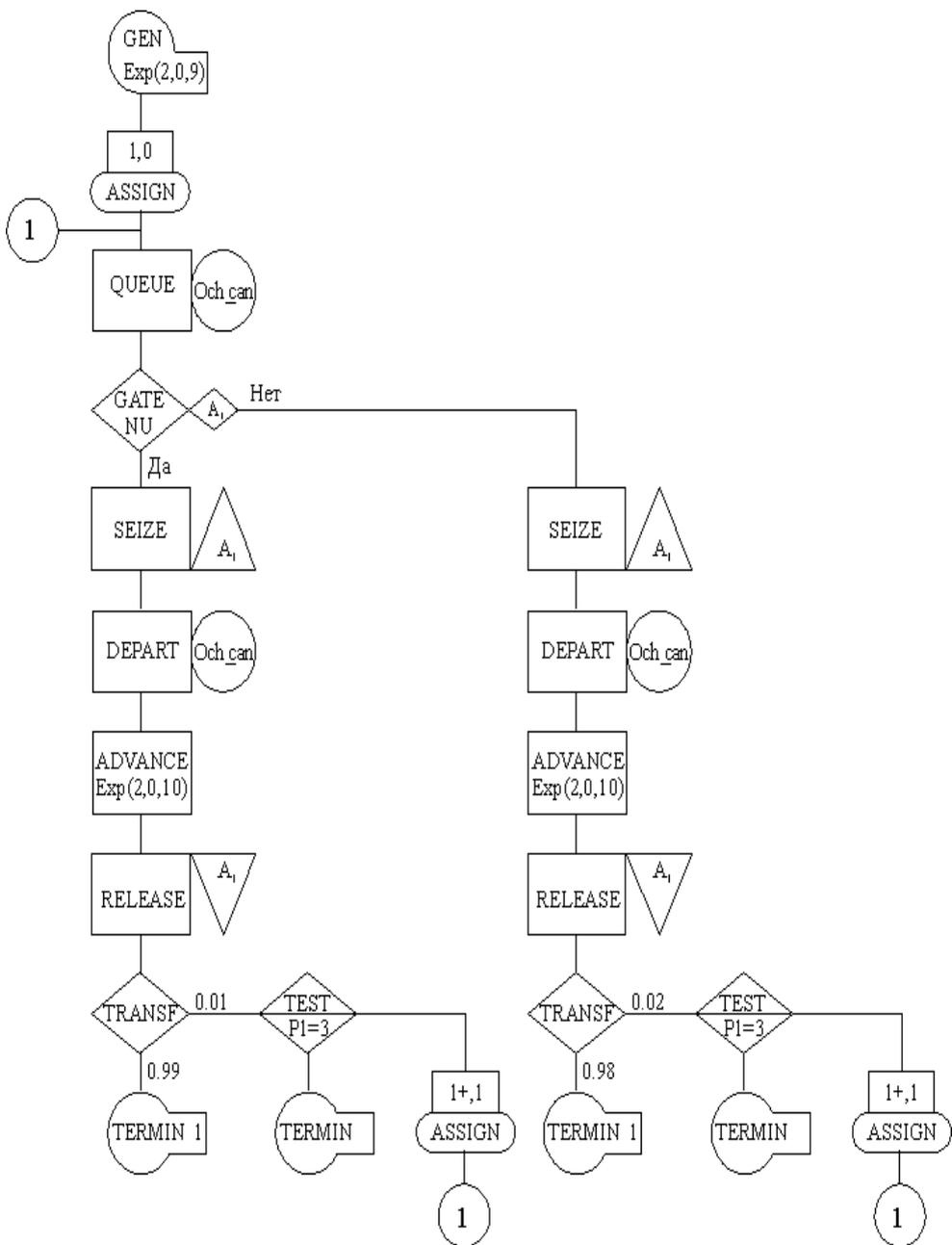


Рис. 4. Блок-диаграмма модели

4.3. Текст имитационной программы на GPSS World

Текст программы приведен на рис. 5.

met0	GENERATE	(Exponential(2,0,9))
	ASSIGN	1,0
	QUEUE	Och_can
	GATE NU	can_a1,met3
	SEIZE	can_a1
	DEPART	Och_can
	ADVANCE	(Exponential(2,0,10))
	RELEASE	can_a1
	TRANSFER	0.01,,met1
	TERMINATE	1
met1	TEST E	P1,3,met2
	TERMINATE	
met2	ASSIGN	1+,1
	TRANSFER	,met0
met3	SEIZE	can_a2
	DEPART	Och_can
	ADVANCE	(Exponential(2,0,8))
	RELEASE	can_a2
	TRANSFER	0.02,,met4
met4	TERMINATE	1
	TEST E	P1,2,met2
	TERMINATE	

Рис. 5. Текст программы на GPSS World

Далее в курсовом проекте необходимо описать все блоки языка GPSS World, которые были использованы в данной программе.

GENERATE (Exponential(2,0,9)) – блок имитирующий поступление сообщений в систему с экспоненциальным законом распределения времени между соседними сообщениями, со средним значением – 9 мс.

ASSIGN 1,0 – присвоение первому параметру активного транзакта значения 0. Первый параметр используется в модели для маркировки сообщения, чтобы можно было узнать, сколько раз это сообщение было передано с ошибкой. В момент появления сообщение ошибок не содержит.

met0 QUEUE Och_can – блок, служащий для сбора статистики о задержках сообщений в момент ресурсного конфликта (занятости обоих передающих каналов).

GATE NU can_a1,met3 – проверяет, свободен ли первый канал. Если канал can_a1 занят, сообщение передается к блоку обозначенному меткой met3, а, если он свободен, то к следующему блоку: SEIZE can_a1. Этот блок служит для указания системе, что канал can_a1 занят, т.к. поступившее сообщение его заняло.

DEPART Och_can – активное сообщение удаляется из буфера, тем самым текущая длина очереди уменьшается на единицу и фиксируется время ожидания сообщения в буфере.

ADVANCE(Exponential(2,0,10)) - блок, задерживающий транзакт на случайное экспоненциально распределенное время со средним значением 10 мс. Имитирует в системе процесс передачи сообщения каналом can_a1. После завершения передачи сообщение переходит в блок RELEASE can_a1 – освобождение канала, информация системе, что канал может передавать следующее сообщение.

TRANSFER 0.01,,met1 – блок делит поток сообщений, переданных по каналу can_a1, на переданные с ошибкой и безошибочные: с вероятностью 0.01 сообщение передано с ошибкой и передается к метке met1 (ставится в очередь на повторную передачу по каналу can_a1), а с вероятностью 0,99 сообщение удаляется из системы блоком TERMINATE 1. Этот блок не только удаляет из системы переданное сообщение, но и уменьшает счетчик завершений на единицу. Начальное значение счетчика завершений задается в команде START и равно 100000.

Когда счетчик завершений станет равным нулю, система закончит наблюдение за моделью и сформирует стандартный отчет GPSS World о работе модели за время, которое понадобилось, чтобы передать 100000 сообщений.

Блок: **met1 TEST E P1,3,met2** – сравнивает две величины: значение первого параметра транзакта и тройку – максимальное число передач с ошибкой. Если P1=3, то

сообщение удаляется из системы, тем самым имитируются потери заявок из-за некачественной связи. В противном случае сообщение направляется к метке met2.

met2 ASSIGN 1+,1 – блок, который увеличивает значение первого параметра транзакта на единицу (имитация счетчика количества ошибок на одно сообщение).

Остальные блоки программы имитируют передачу сообщения по второму каналу cap_a2, назначение блоков аналогично описанному выше.

Следующий этап работы над курсовым проектом – анализ стандартного отчета GPSS с последующими выводами.

3.4. Анализ стандартного отчета GPSS

Результат работы модели приведен на рис. 6. Проанализируем его и сделаем выводы о работе модели.

Модель отработала 902,5 секунд. За это время поступило 100001 сообщение, из которых на момент завершения работы модели 47161 было передано по первому каналу, 52839 – по второму. На первом канале зафиксировано 513 ошибок, на втором – 1089. За все время работы первый канал был использован 53% времени, а второй – 47,8%.

При проектировании системы необходимо предусмотреть буфер, в котором могло бы храниться не менее 19 сообщений, т.к. максимальная длина очереди равна 19. На момент завершения работы системы очередь пуста. Вероятность задержки сообщения в буфере равна:

$$P_{\text{зад}} = \frac{N_{\text{зад}}}{N_{\text{очер}}} = \frac{101603 - 71151}{101603} \approx 0,3.$$

30452 сообщений были задержаны вследствие занятости передающих устройств, среднее время ожидания – 19,014 мс. Потерь по причине троекратной передачи с ошибкой в системе не было.

GPSS World Simulation Report - kursovaya.7.1

Monday, April 19, 2010 18:06:27

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	902504.381	22	2	0

NAME	VALUE
CAN_A1	10001.000
CAN_A2	10002.000
MET0	3.000
MET1	11.000
MET2	13.000
MET3	15.000
MET4	21.000
OCH_CAN	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT	COUNT	RETRY
	1	GENERATE	100001	0	0	
	2	ASSIGN	100001	0	0	
MET0	3	QUEUE	101603	0	0	
	4	GATE	101603	0	0	
	5	SEIZE	47675	0	0	
	6	DEPART	47675	0	0	
	7	ADVANCE	47675	1	0	
	8	RELEASE	47674	0	0	
	9	TRANSFER	47674	0	0	
	10	TERMINATE	47161	0	0	
MET1	11	TEST	513	0	0	
	12	TERMINATE	0	0	0	
MET2	13	ASSIGN	1602	0	0	
	14	TRANSFER	1602	0	0	
MET3	15	SEIZE	53928	0	0	
	16	DEPART	53928	0	0	
	17	ADVANCE	53928	0	0	
	18	RELEASE	53928	0	0	
	19	TRANSFER	53928	0	0	
	20	TERMINATE	52839	0	0	
MET4	21	TEST	1089	0	0	
	22	TERMINATE	0	0	0	

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
CAN_A1	47675	0.530	10.039	1	100000	0	0	0	0
CAN_A2	53928	0.478	7.996	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
OCH_CAN	19	0	101603	71151	0.642	5.699	19.014

Рис. 6. Стандартный отчет GPSS

Можно ли улучшить показатели работы системы? Ответ на этот вопрос могут дать эксперименты с моделью.

4.5. Эксперименты с моделью

Анализ работы модели показал, что максимальная длина буфера сообщений равна 19. Поставим перед собой задачу уменьшить время ожидания в очереди.

Для решения этой задачи изменим принцип выбора канала передачи данных. В существующей модели выбор канала передачи сообщений осуществляется следующим образом: если первый канал свободен, то передача осуществляется по нему, а если он занят, то сообщение передается по второму каналу. В случае занятости второго канала сообщение дожидается его освобождения и передается по нему как только он освободится.

Перестроим модель таким образом, чтобы сообщение отправлялось по тому каналу, который первым освободится. Текст программы приведен на рис. 7.

Рассмотрим как изменилась работа модели. Стандартный отчет GPSS приведен на рис. 8.

Из этого отчета видно, что максимальная длина очереди существенно не уменьшилась: была – 19, а стала – 16 сообщений. Зато среднее время ожидания уменьшилось с 19 до 9.2 мс.

Таким образом, мы улучшили работу системы, существенно сократив потери по времени.

Проведем еще один эксперимент. Известно, что сбор статистики о работе системы стоит вести только после того как система начала работать в установившемся режиме, т.к. в момент включения система работает не стабильно. Заставим модель работать значительно дольше. Пусть система работает до тех пор пока не передаст 1000000 сообщений. Цель этого эксперимента – убедиться, что очередь не будет в дальнейшем

расти неограниченно. Фрагмент стандартного отчета приведен на рис. 9.

Из отчета видно, что на передачу такого количества сообщений система затратила 2,5 часа, при этом максимальная длина очереди не изменилась, а среднее время ожидания в очереди изменилось незначительно.

```
GENERATE (Exponential(2,0,9))
ASSIGN 1,0
met0 QUEUE Och_can
TRANSFER BOTH,,met3
SEIZE can_a1
DEPART Och_can
ADVANCE (Exponential(2,0,10))
RELEASE can_a1
TRANSFER 0.01,,met1
TERMINATE1

met1 TEST E P1,3,met2
TERMINATE

met2 ASSIGN 1+,1
TRANSFER ,met0

met3 SEIZE can_a2
DEPART Och_can
ADVANCE (Exponential(2,0,8))
RELEASE can_a2
TRANSFER 0.02,,met4
TERMINATE1

met4 TEST E P1,3,met2
TERMINATE
```

Рис. 7. Текст программы модифицированной модели

GPSS World Simulation Report - kursovaya.4.1

Wednesday, April 21, 2010 01:38:01

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	901683.885	22	2	0

NAME	VALUE
CAN_A1	10001.000
CAN_A2	10002.000
MET0	3.000
MET1	11.000
MET2	13.000
MET3	15.000
MET4	21.000
OCH_CAN	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	100000	0	0
	2	ASSIGN	100000	0	0
MET0	3	QUEUE	101523	0	0
	4	TRANSFER	101523	0	0
	5	SEIZE	54992	0	0
	6	DEPART	54992	0	0
	7	ADVANCE	54992	0	0
	8	RELEASE	54992	0	0
	9	TRANSFER	54992	0	0
	10	TERMINATE	54419	0	0
MET1	11	TEST	573	0	0
	12	TERMINATE	0	0	0
MET2	13	ASSIGN	1523	0	0
	14	TRANSFER	1523	0	0
MET3	15	SEIZE	46531	0	0
	16	DEPART	46531	0	0
	17	ADVANCE	46531	0	0
	18	RELEASE	46531	0	0
	19	TRANSFER	46531	0	0
	20	TERMINATE	45581	0	0
MET4	21	TEST	950	0	0
	22	TERMINATE	0	0	0

FACILITY DELAY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY
CAN_A1	54992	0.610	10.003	1	0	0	0	0
CAN_A2	46531	0.415	8.037	1	0	0	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE. (-0)	RETRY
OCH_CAN	16	0	101523	67573	0.346	3.077	9.202

Рис. 8. Отчет о работе модифицированной модели

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE. (-0)	RETRY
OCH_CAN	16	2	1014878	673002	0.345	3.058	9.079

Рис. 9. Фрагмент отчета о длительной работе системы

4.6. Заключение курсового проекта

В заключение к курсовой работе необходимо сделать резюме проделанной работы.

Например: *В ходе выполнения курсовой работы была построена модель предложенной системы, которая обладала следующими недостатками:*

- модель требовала буфера большого объема;*
- имела высокую вероятность потерь по времени;*
- большое время ожидания в буфере.*

Была произведена модификация модели, которая позволила уменьшить эти недостатки: максимальная длина очереди стала короче, а среднее время ожидания сократилось больше чем в два раза. Также проведен эксперимент, позволяющий убедиться в том, что работа системы стабильна, ее характеристики не изменяются при более длительном наблюдении за системой.

4. СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА

На защиту студент представляет расчетно-пояснительную записку (РПЗ) в электронном и бумажном виде. Пояснительная записка должна содержать постановку задач (общую и по разделам), подробное описание выполняемых расчетов, графики в удобном для иллюстрации масштабе. Отдельные элементы графиков должны быть озаглавлены в поле рисунка и хорошо различаться в черно-белом варианте.

РПЗ объемом от 25 до 50 страниц содержит:

- титульный лист;
- задание на курсовую работу (проект);
- лист «Замечания руководителя»;
- содержание;
- введение;
- основную часть (конструкторскую, технологическую, расчетную, исследовательскую);
- заключение;
- список литературы;
- приложения (при необходимости).

5. ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Задание 1. В системе передачи данных осуществляется обмен пакетами данных между пунктами А и В по дуплексному каналу связи. Пакеты поступают в пункты системы от абонентов с интервалами времени между ними $N1 \pm M1$ мс в пункт А и $N2 \pm M2$ мс в пункт В. Передача пакета занимает $N3 \pm M3$ мс. В пунктах имеются буферные регистры, которые могут хранить два пакета (включая передаваемый). В случае прихода пакета в момент занятости регистров пунктам системы предоставляется выход на спутниковую полудуплексную линию связи, которая осуществляет передачу пакетов данных за $N4 \pm M4$ мс. При занятости спутниковой линии пакет получает отказ.

Смоделировать обмен информацией в системе передачи данных в течение T мин. Определить частоту вызовов спутниковой линии и ее загрузку. В случае возможности отказов определить необходимый для безотказной работы системы объем буферных регистров.

Задание 2. Система передачи данных обеспечивает передачу пакетов данных из пункта А в пункт С через транзитный пункт В. В пункт А пакеты поступают через $N1 \pm M1$ мс. Здесь они буферируются в накопителе емкостью L пакетов и передаются по любой из двух линий АВ1 — за время $N2 \pm M2$ мс или АВ2 — за время $N3 \pm M3$ мс. В пункте В они снова буферируются в накопителе емкостью L пакетов и далее передаются по линиям ВС1 (за $N4 \pm M4$ мс) и ВС2 (за $N5 \pm M5$ мс). Причем пакеты из АВ1 передаются по ВС1, а из АВ2 — по ВС2. При поступлении пакетов, когда буфер заполнен полностью – пакеты считаются потерянными.

Смоделировать прохождение через систему передачи данных R пакетов. В случае возможности переполнения буферов в пунктах А и В определить необходимое для нормальной работы пороговое значение емкости накопителя.

Задание 3. Магистраль передачи данных состоит из двух каналов (основного и резервного) и общего накопителя. При

нормальной работе сообщения передаются по основному каналу за $N1 \pm M1$ с. В основном канале происходят сбои через интервалы времени $N2 \pm M2$ с. Если сбой происходит во время передачи, то за n с запускается запасной канал, который передает прерванное сообщение с самого начала и с той же скоростью. Восстановление основного канала занимает $N3 \pm M3$ мин. После восстановления резервный канал выключается и основной канал продолжает работу с очередного сообщения. Сообщения поступают через $N4 \pm M4$ с и остаются в накопителе до окончания передачи. В случае сбоя передаваемое сообщение передается повторно по запасному каналу.

Смоделировать работу магистрали передачи данных в течение T мин. Определить загрузку запасного канала, частоту отказов канала и число прерванных сообщений.

Задание 4. В коммутационную систему каждые $N1 \pm M1$ мин поступают n сообщений первого направления и каждые $N2 \pm M2$ мин поступает n сообщений второго направления. Все сообщения помещаются в один буфер, который может хранить не более Y сообщений. Сообщения первого направления передаются $N3 \pm M3$ мин, сообщения второго направления - $N4 \pm M4$ мин. На каждом из направлений имеется буфер для хранения m сообщений. Все сообщения, которые поступают в момент полной заполненности буфера теряются системой.

Смоделировать работу коммутационной системы в течение T ч. Определить вероятности потерь сообщений на входе системы и на каждом направлении. Определить целесообразность увеличения размера буфера.

Задание 5. Специализированная вычислительная система состоит из трех процессоров и общей оперативной памяти. Задания, поступающие на обработку через интервалы времени $N1 \pm M1$ мин, занимают объем оперативной памяти размером в страницу. После трансляции первым процессором в течение $N2 \pm M2$ мин их объем увеличивается до двух страниц, и они поступают в оперативную память. Затем после редактирования во втором процессоре, которое занимает $N3 \pm M3$ мин на страницу, объем возрастает до трех страниц.

Отредактированные задания через оперативную память поступают в третий процессор на решение, требующее $N4 \pm M4$ мин на страницу, и покидают систему, минуя оперативную память.

Смоделировать работу вычислительной системы в течение T ч.

Задание 6. На вычислительном центре в обработку принимаются три класса заданий A , B и C . Исходя из наличия оперативной памяти ЭВМ задания классов A и B могут решаться одновременно, а задания класса C монополизируют ЭВМ. Задания класса A поступают через $N1 \pm M1$ мин, класса B – через $N2 \pm M2$ мин и класса C — через $N3 \pm M3$ мин и требуют для выполнения: класс A – $N4 \pm M4$ мин, класс B – $N5 \pm M5$ мин и класс C – $N6 \pm M6$ мин. Задачи класса C загружаются в ЭВМ, если она полностью свободна. Задачи классов A и B могут дозагружаться к решаемой задаче. Смоделировать работу ЭВМ за T ч. Определить загрузку ЭВМ и количество решенных задач классов A , B и C .

Задание 7. В систему передачи данных через интервалы времени, распределенные экспоненциально со средним значением t_{cp} мс, поступают пакеты данных. Половина всех поступающих пакетов перед передачей нуждается в предварительной обработке в течение $t_{пред}$ мс. Пакеты, не прошедшие предварительную обработку и прошедшие ее, передаются в пункт A . Процесс передачи занимает всего t_1 мс. Затем пакеты данных передаются в пункт B , в среднем за t_2 мс (время передачи распределено экспоненциально). В результате передачи в пункт A возникает N % испорченных пакетов, которые не передаются в пункт B , а направляются снова на предварительную обработку.

Смоделировать работу системы в течение T мин. Определить возможные места появления очередей. Выявить причины их возникновения, предложить меры по их устранению и смоделировать скорректированную систему.

Задание 8. В коммутационную систему A поступают сообщения в среднем через t_{cp} мин. Передача сообщений из

системы А производится по одному из двух каналов А1 и А2 в систему В: А1 канал передает сообщение в среднем $t_1 = 5$ мин и имеет до N_1 % сообщений переданных с ошибкой, А2 – соответственно $t_1 = 7$ мин и N_2 % ошибок. Все ошибочные сообщения возвращаются на повторную передачу по второму каналу. Сообщения, переданные с ошибками дважды, считаются потерянными. Все интервалы времени распределены по экспоненциальному закону.

Смоделировать передачу Y сообщений. Определить загрузку каналов и вероятность появления потерь.

Задание 9. В вычислительный центр через случайные интервалы времени поступают по два задания в среднем через каждые t_{cp} с. Обработка заданий первым процессором производится для двух заданий одновременно и занимает около T_1 с. Если в момент прихода заданий предыдущая партия не была обработана, поступившие задания не принимаются. Задания, получившие отказ и задания, обработанные первым процессором, поступают в промежуточный накопитель. Из накопителя задания, обработанные первым процессором, поступают попарно на обработку вторым процессором, которая выполняется в среднем за T_2 с, а не прошедшие обработку первым процессором поступают на полную обработку вторым процессором, которая занимает T_3 с для одного задания. Все величины, заданные средними значениями, распределены экспоненциально.

Смоделировать работу вычислительного центра в течение N мин. Определить параметры и ввести в систему накопитель, обеспечивающий безотказное обслуживание поступающих заданий.

Задание 10. Система обработки информации содержит мультиплексный канал и три ЭВМ. Сигналы от датчиков поступают на вход канала через интервалы времени $\cdot T_1 \pm M_1$ мкс. В канале они буферизируются и предварительно обрабатываются в течение $T_2 \pm M_2$ мкс. Затем они поступают на обработку в ту ЭВМ, где имеется наименьшая по длине входная очередь. Емкости входных накопителей во всех ЭВМ

рассчитаны на хранение величин Q сигналов. В случае переполнения накопителя сигналы считаются потерянными. Время обработки сигнала в любой ЭВМ равно $\cdot T$ мкс.

Смоделировать процесс обработки X сигналов, поступающих с датчиков. Определить средние времена задержки сигналов в канале и ЭВМ и вероятности переполнения входных накопителей.

Задание 11. В узел коммутации сообщений, состоящий из входного буфера, процессора, двух исходящих буферов и двух выходных линий, поступают сообщения с двух направлений. Сообщения с одного направления поступают во входной буфер, обрабатываются в процессоре, буферируются в выходном буфере первой линии и передаются по выходной линии. Сообщения со второго направления обрабатываются аналогично, но передаются по второй выходной линии. Применяемый метод контроля потоков требует одновременного присутствия в системе не более трех сообщений на каждом направлении. Сообщения поступают через интервалы $T1 \pm M1$ мс. Время обработки в процессоре равно $T_{обр}$ мс на сообщение, время передачи по выходной линии равно $T2 \pm M2$ мс. Если сообщение поступает при наличии трех сообщений в направлении, то оно получает отказ.

Смоделировать работу узла коммутации в течение T с. Определить загрузку устройств и вероятность отказа в обслуживании из-за переполнения буфера направления. Определить изменения в функции распределения времени передачи при снятии ограничений, вносимых методом контроля потоков.

Задание 12. Информационная система реального времени состоит из центрального процессора (ЦП), основной памяти (ОП) емкостью Q ОП Кбайт и накопителя на жестком диске (НД). Запросы от большого числа удаленных терминалов поступают каждые $T1 \pm M1$ мс и обрабатываются ЦП за время 1 мс. После этого каждый запрос помещается в ОП либо получает отказ в обслуживании, если ОП заполнена (каждый запрос занимает 2 кбайт памяти). Для обслуживаемых запросов

производится поиск информации на НД за время $T_2 \pm M_2$ мс и ее считывание за время $T_3 \pm M_3$ мс. Работа с НД не требует вмешательства ЦП. После этого запрос считается обслуженным и освобождает место в ОП.

Смоделировать процесс обслуживания N запросов. Подсчитать число запросов, получивших отказ в обслуживании. Определить среднее и максимальное содержимое ОП, а также коэффициент загрузки НД.

Задание 13. Пять операторов работают в справочной телефонной сети города, сообщая номера телефонов по запросам абонентов, которые обращаются по одному номеру 09. Автоматический коммутатор переключает абонента на того оператора, в очереди которого ожидает наименьшее количество абонентов, причем наибольшая допустимая длина очереди перед оператором — два абонента. Если все очереди имеют максимальную длину, вновь поступивший вызов получает отказ. Обслуживание абонентов операторами длится $N_1 \pm M_1$ с. Вызовы поступают в справочную через каждые $N_2 + M_2$ с.

Смоделировать обслуживание n вызовов. Подсчитать вероятность отказов. Определить время простоя каждого оператора справочной.

Задание 14. Специализированное вычислительное устройство, работающее в режиме реального времени, имеет в своем составе два процессора, соединенные с общей оперативной памятью. В режиме нормальной эксплуатации задания выполняются на первом процессоре, а второй является резервным. Первый процессор характеризуется низкой надежностью и работает безотказно лишь в течение $N_1 \pm M_1$ мин. Если отказ происходит во время решения задания, в течение T_1 мин производится включение второго процессора, который продолжает решение прерванного задания, а также решает и последующие задания до восстановления первого процессора. Это восстановление происходит за $N_2 \pm M_2$ мин, после чего начинается решение очередного задания на первом процессоре, а резервный выключается. Задания поступают на

устройство каждые $N3 \pm M3$ мин и решаются за $N4 \pm M4$ мин. Надежность резервного процессора считается идеальной.

Смоделировать процесс работы устройства в течение $T2$ ч. Подсчитать число решенных заданий, число отказов процессора и число прерванных заданий. Определить максимальную длину очереди заданий и коэффициент загрузки резервного процессора.

Задание 15. В справочной телефонной сети города работают три оператора, сообщая номера телефонов по запросам абонентов, которые обращаются по одному номеру 09. Автоматический коммутатор переключает абонента на того оператора, в очереди которого ожидает наименьшее количество абонентов, причем наибольшая допустимая длина очереди перед оператором — два абонента. Если все очереди имеют максимальную длину, вновь поступивший вызов получает отказ. Обслуживание абонентов операторами длится $N1 \pm M1$ с. Вызовы поступают в справочную через каждые $N2 + M2$ с.

Смоделировать обслуживание n вызовов. Подсчитать количество отказов. Определить коэффициенты загрузки операторов справочной.

Задание 16. В системе передачи данных осуществляется обмен пакетами данных между пунктами А и В по дуплексному каналу связи. Пакеты поступают в пункты системы от абонентов с интервалами времени между ними $N1 \pm M1$ мс в пункт А и $N2 \pm M2$ мс в пункт В. Передача пакета занимает L мс. В пунктах имеются буферные регистры, которые могут хранить два пакета (включая передаваемый). В случае прихода пакета в момент занятости регистров пунктам системы предоставляется выход на спутниковую полудуплексную линию связи, которая осуществляет передачу пакетов данных за $N3 \pm M3$ мс. При занятости спутниковой линии пакет получает отказ.

Смоделировать обмен информацией в системе передачи данных в течение T мин. Определить частоту вызовов спутниковой линии и ее загрузку. В случае возможности

отказов определить необходимый для безотказной работы системы объем буферных регистров.

Задание 17. Система передачи данных обеспечивает передачу пакетов данных из пункта А в пункт С через транзитный пункт В. В пункт А пакеты поступают в среднем через N_1 мс. Здесь они буферируются в накопителе емкостью L_1 пакетов и передаются по любой из двух линий АВ1 — за время N_2 мс или АВ2 — за время N_3 мс. В пункте В они снова буферируются в накопителе емкостью L_2 пакетов и далее передаются по линиям ВС1 (среднее время передачи N_4 мс) и ВС2 (среднее время передачи N_5 мс). Причем пакеты из АВ1 поступают в ВС1, а из АВ2 — в ВС2. При поступлении пакетов, когда буфер заполнен полностью — пакеты считаются потерянными. Все величины заданные средними значениями распределены по экспоненциальному закону.

Смоделировать прохождение через систему передачи данных L_3 пакетов. В случае возможности переполнения буферов в пунктах А и В определить необходимое для нормальной работы пороговое значение емкости накопителя.

Задание 18. Магистраль передачи данных состоит из двух каналов (основного и резервного) и общего накопителя. При нормальной работе сообщения передаются по основному каналу за $N_1 \pm M_1$ с. В основном канале происходят сбои через интервалы времени $N_2 \pm M_2$ с. Если сбой происходит во время передачи, то за n с запускается запасной канал, который передает прерванное сообщение с самого начала. Восстановление основного канала занимает $N_3 \pm M_3$ с. После восстановления резервный канал выключается и основной канал продолжает работу с очередного сообщения. Сообщения поступают через $N_4 \pm M_4$ с и остаются в накопителе до окончания передачи. В случае сбоя передаваемое сообщение передается повторно по запасному каналу.

Смоделировать работу магистрали передачи данных в течение T ч. Определить загрузку запасного канала, частоту отказов канала и число прерванных сообщений.

Задание 19. В коммутационную систему каждые $N_1 \pm M_1$ мин поступают L_1 сообщения первого направления и каждые $N_2 \pm M_2$ мин поступает L_2 сообщения второго направления. Все сообщения помещаются в один буфер, который может хранить не более L_3 сообщений. Все сообщения, которые поступают в момент полной заполненности общего буфера теряются системой. Сообщения первого направления передаются $N_3 \pm M_3$ мин, сообщения второго направления – $N_4 \pm M_4$ мин. На каждом из направлений имеется буфер для хранения L_4 сообщения.

Смоделировать работу коммутационной системы в течение T ч. Определить вероятности потерь сообщений на входе системы и на каждом направлении. Определить целесообразность увеличения размера буфера.

Задание 20. Специализированная вычислительная система состоит из трех процессоров и общей оперативной памяти. Задания, поступающие на обработку через интервалы времени $N \pm M$ мин, занимают объем оперативной памяти размером в страницу. После трансляции первым процессором в течение $N_1 \pm M_1$ мин их объем увеличивается до двух страниц, и они поступают в оперативную память. Затем после редактирования во втором процессоре, которое занимает $N_2 \pm M_2$ мин на страницу, объем возрастает до трех страниц. Отредактированные задания через оперативную память поступают в третий процессор на решение, требующее $N_3 \pm M_3$ мин на страницу, и покидают систему, минуя оперативную память. Смоделировать работу вычислительной системы в течение T ч.

Задание 21. В систему передачи данных через интервалы времени, распределенные экспоненциально со средним значением T_{cp} мс, поступают пакеты данных. Половина всех поступающих пакетов перед передачей нуждается в предварительной обработке в течение T_1 мс. Пакеты, не прошедшие предварительную обработку и прошедшие ее, передаются в пункт А. Процесс передачи занимает всего T_2 мс. Затем пакеты данных передаются в пункт

В, в среднем за T_3 мс (время передачи распределено экспоненциально). В результате передачи в пункт А возникает $\cdot N$ % испорченных пакетов, которые не передаются в пункт В, а направляются снова на предварительную обработку.

Смоделировать работу системы в течение T_r мин. Определить возможные места появления очередей. Выявить причины их возникновения, предложить меры по их устранению и смоделировать скорректированную систему.

Задание 22. В коммутационную систему А поступают сообщения в среднем через T мин. Передача сообщений из системы А производится по одному из двух каналов А1 и А2 в систему В: А1 канал передает сообщение в среднем t_1 мин и имеет до N_1 % сообщений переданных с ошибкой, А2 – соответственно t_2 мин и N_2 % ошибок. Все ошибочные сообщения возвращаются на повторную передачу по второму каналу. Сообщения, переданные с ошибками дважды, считаются потерянными. Все интервалы времени распределены по экспоненциальному закону.

Смоделировать передачу n сообщений. Определить загрузку каналов и вероятность появления потерь.

Задание 23. В вычислительный центр через случайные интервалы времени поступают по два задания в среднем через каждые T с. Обработка заданий первым процессором производится для двух заданий одновременно и занимает около $\cdot t_1$ с. Если в момент прихода заданий предыдущая партия не была обработана, поступившие задания не принимаются. Задания, получившие отказ и задания, обработанные первым процессором, поступают в промежуточный накопитель. Из накопителя задания, обработанные первым процессором, поступают попарно на обработку вторым процессором, которая выполняется в среднем за t_2 с, а не прошедшие обработку первым процессором поступают на полную обработку вторым процессором, которая занимает t_3 с для одного задания. Все величины, заданные средними значениями, распределены экспоненциально. Смоделировать работу вычислительного центра в течение N мин. Определить параметры и ввести в

систему накопитель, обеспечивающий безотказное обслуживание поступающих заданий.

Задание 24. Система обработки информации содержит мультиплексный канал и три ЭВМ. Сигналы от датчиков поступают на вход канала через интервалы времени $N1 \pm M1$ мкс. В канале они буферизируются и предварительно обрабатываются в течение $N2 \pm M2$ мкс. Затем они поступают на обработку в ту ЭВМ, где имеется наименьшая по длине входная очередь. Емкости входных накопителей во всех ЭВМ рассчитаны на хранение величин n сигналов. В случае переполнения накопителя сигналы считаются потерянными. Время обработки сигнала в любой ЭВМ равно T мкс.

Смоделировать процесс обработки m сигналов, поступающих с датчиков. Определить средние времена задержки сигналов в канале и ЭВМ и вероятности переполнения входных накопителей.

Задание 25. Распределенный банк данных организован на базе трех удаленных друг от друга вычислительных центров А, В и С. Все центры связаны между собой каналами передачи данных, работающими в дуплексном режиме независимо друг от друга. В каждый из центров с интервалом времени $N \pm M$ мин поступают заявки на проведение информационного поиска.

Если ЭВМ центра, получившего заявку от пользователя, свободна, в течение $N1 \pm M1$ мин производится ее предварительная обработка, в результате которой формируются запросы для центров А, В и С. В центре, получившем заявку от пользователя, начинается поиск информации по запросу, а на другие центры по соответствующим каналам передаются за $T1$ мин тексты запросов, после чего там также может начаться поиск информации, который продолжается: в центре А — $N2 \pm M2$ мин, в центре В — $N3 \pm M3$ мин, в центре С — $N4 \pm M4$ мин. Тексты ответов передаются за $T2$ мин по соответствующим каналам в центр, получивший заявку на поиск. Заявка считается выполненной, если получены ответы от всех трех центров. Каналы при своей работе не используют ресурсы ЭВМ центров.

Смоделировать процесс функционирования распределенного банка данных при условии, что всего обслуживается n заявок. Подсчитать число заявок, поступивших и обслуженных в каждом центре. Определить коэффициенты загрузки ЭВМ центров.

Варианты исходных данных к заданиям приведены в таблице.

Исходные данные

Варианты	Номер задания	Исходные данные
01	1.	$N_1 = 20; M_1 = 5; N_2 = 15; M_2 = 10; N_3 = 15; M_3 = 10; N_4 = 6; M_4 = 3; T = 1$
02	2.	$N_1 = 10; M_1 = 5; L = 10; N_2 = 18; M_2 = 7; N_3 = 20; M_3 = 5; N_4 = 25; M_4 = 3; N_5 = 15; M_5 = 5; R = 500$
03	3.	$N_1 = 7; M_1 = 3; N_2 = 200; M_2 = 35; n = 2; N_3 = 5; M_3 = 1; N_4 = 10; M_4 = 2; T = 30$
04	4.	$N_1 = 10; M_1 = 1; n = 5; N_2 = 15; M_2 = 7; Y = 10; N_3 = 3; M_3 = 1; N_4 = 16; M_4 = 6; m = 2; T = 8$
05	5.	$N_1 = 5; M_1 = 2; N_2 = 5; M_2 = 1; N_3 = 2.5; M_3 = 0.5; N_4 = 1.6; M_4 = 0.6; T = 2$
06	6.	$N_1 = 20; M_1 = 5; N_2 = 20; M_2 = 10; N_3 = 30; M_3 = 15; N_4 = 20; M_4 = 5; N_5 = 21; M_5 = 3; N_6 = 28; M_6 = 5; N = 6$
07	7.	$t_{cp} = 12; t_{пред} = 8; t_1 = 3; t_2 = 5; T = 3; N = 0,5$
08	8.	$t_{cp} = 6; t_1 = 5; t_2 = 7; N_1 = 0.75 \%; N_2 = 0.19 \%; Y = 150$
09	9.	$t_{cp} = 30; T_1 = 30; T_2 = 25; T_3 = 100; N = 15$
10	10.	$T_1 = 12; T_2 = 16; M_1 = 5; M_2 = 7; Q = 11; T = 33; X = 350$
11	11.	$T_1 = 15; T_2 = 15; M_1 = 7; M_2 = 9; T = 10; T_{обп} = 7$
12	12.	$Q_{ОП} = 100; T_1 = 75; T_2 = 120; M_1 = 25; M_2 = 20; T_3 = 10; M_3 = 5; N = 125$

Продолжение таблицы

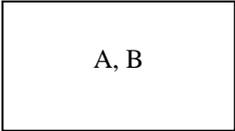
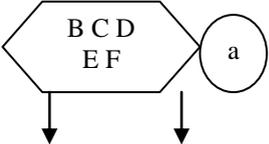
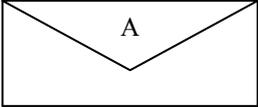
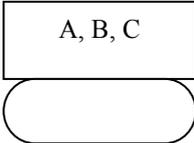
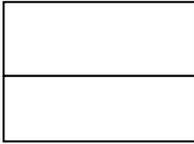
Вариан- ты	Номер задания	Исходные данные
13	13.	$N_1=5 ; M_1=3 ; N_2=12; M_2=8; n=500$
14	14.	$N_1=16; M_1=14; T_1=50; N_2=7; M_2=5; T_2=2;$ $N_3=6; M_3=2; N_4=15; M_4=13$
15	15.	$N_1=20; M_1=15; N_2=7; M_2=4; n=300$
16	16.	$N_1=25; M_1=13; N_2=10; M_2=8; N_3=2; M_3=1;$ $L=30; T=40$
17	17.	$N_1=55; L_1=20; N_2=15; L_2=20 N_3=30;$ $L_3=13; N_4=7; N_5=4$
18	18.	$N_1=10; M_1=9; N_2=16; M_2=7; N_3=21;$ $M_3=10; N_4=12; M_4=8; T=3$
19	19.	$N_1=27; M_1=17; L_1=2; N_2=15; M_2=13;$ $L_2=5; N_3=11; M_3=9; L_3=4; N_4=12; M_4=10;$ $T=5$
20	20.	$N = 15 ; M = 4 ; N_1 = 7; M_1 = 2; N_2 = 8;$ $M_2 = 1.5; N_3 = 9.5; M_3 = 2.5; T = 1.5$
21	21.	$T_{cp} = 3.5; T_1 = 2; T_2 = 1.5; T_3 = 2.5; N = 5;$ $T = 1.5$
22	22.	$T = 4; t_1 = 2.5; N_1 = 1.5; t_2 = 2; N_2 = 3;$ $n = 150$
23	23.	$T = 4; t_1 = 5; t_2 = 4.5 ; t_3 = 5.5 ; N = 5$
24	24.	$N_1 = 25; M_1 = 5; N_2 = 15; M_2 = 4; n = 4;$ $T = 12; m = 200$
25	25.	$N = 5; M = 2; N_1 = 3; M_1 = 0.5; T_1 = 1;$ $N_2 = 2; M_2 = 1; N_3 = 2.5; M_3 = 1.5;$ $N_4 = 3.5; M_4 = 1.3; T_2 = 1.5; n = 100$

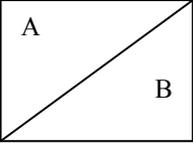
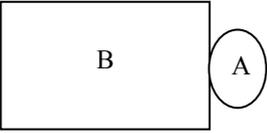
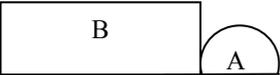
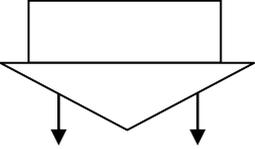
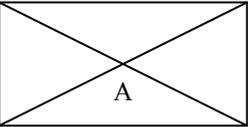
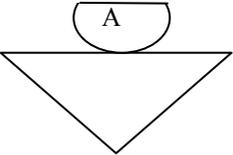
6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

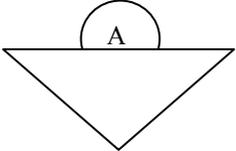
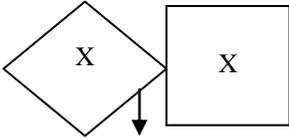
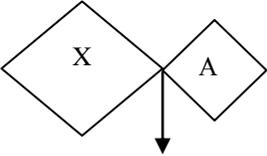
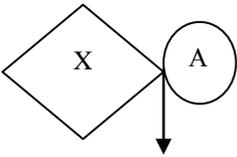
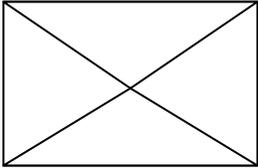
1. Что такое модель?
2. Что такое математическая модель?
3. Какими основными свойствами обладают математические модели?
4. На какие типы делятся все модели?
5. Как можно классифицировать модели по степени абстрагирования модели от её оригинала?
6. Какими разновидностями обладает каждая из этих классификаций?
7. По каким признакам можно классифицировать математические модели?
8. В каком случае система называется устойчивой?
9. В каком случае система называется неустойчивой?
10. При каких условиях модель можно назвать замкнутой?
11. При каких условиях модель можно назвать открытой?
12. В каком случае модель можно считать непрерывной (дискретной)?
13. В каком случае модель можно считать статистической (динамической)?
14. Что включает в себя первый этап моделирования?
15. Что включает в себя второй этап моделирования?
16. Что включает в себя третий этап моделирования?
17. Что включает в себя заключительный этап моделирования?
18. Что может служить промежуточным этапом между описанием модели и формальным алгоритмом?
19. Какие типовые примеры относят к этому этапу?

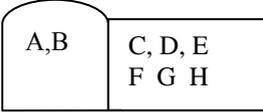
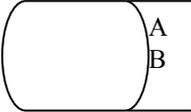
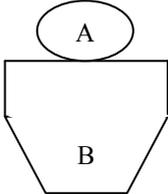
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

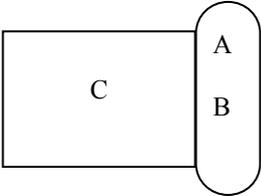
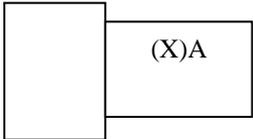
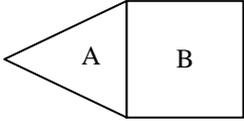
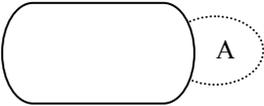
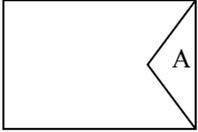
Условные обозначения на блок-диаграммах GPSS

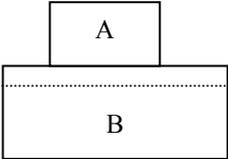
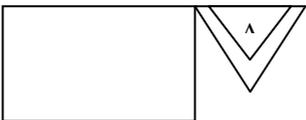
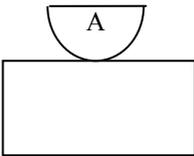
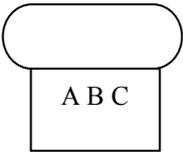
Имя блока	Обозначение блока	Назначение блока
ADVANCE		<p>Задерживает транзакт на время $A \pm B$, если $B = \text{const}$, или $A \times B$, если B – функция</p> <p>Изменяет атрибуты членов группы A</p>
ALTER		<p>Изменяет атрибуты членов группы A</p>
ASSEMBLE		<p>Собирает A транзактов одного ансамбля, пропускает в следующий блок первый транзакт, остальные уничтожает.</p>
ASSIGN		<p>Присваивает параметру A входящего транзакта значение B, модифицированное значением C</p>
BUFFER		<p>Прерывает обработку транзакта и возвращает симулятор к началу списка текущих событий</p>

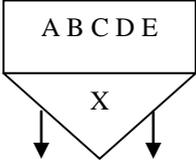
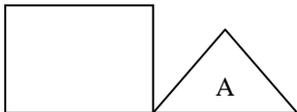
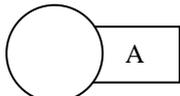
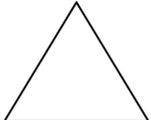
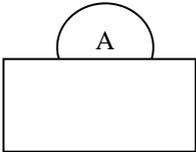
Имя блока	Обозначение блока	Назначение блока
CHANGE		Заменяет в процессе счета блок с номером А на блок с номером В
DEPART		Обеспечивает освобождение в очереди АВ единиц
ENTER		Обеспечивает вхождение транзакта в накопитель А с занятием В единиц памяти
EXAMINE		Изменяет маршрут движения в зависимости от состояния членов группы А
EXECUTE		Выполняет операции блока с номером А
FAVAIL		Объявляет группу устройств А доступным

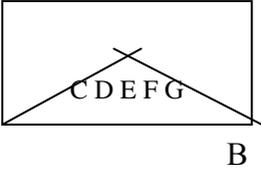
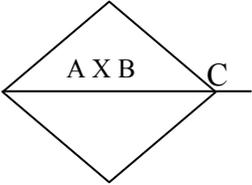
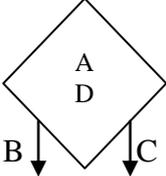
Имя блока	Обозначение блока	Назначение блока
FUNAVAIL		Объявляет группу устройств A недоступными
(X) CATE LS LR		Проверяет условие нахождения логического ключа A в состоянии X
(X) I GATE NI U NU		Проверяет условие нахождения устройства A в состоянии X
(X) SE GATE SF SNE SNE		Проверяет условие нахождения накопителя A в состоянии X
GATHER		Собирает A транзактов одного ансамбля и пропускает их одновременно в следующий блок

Имя блока	Обозначение блока	Назначение блока
GENERATE		<p>Генерирует транзакты через А единиц времени, модифицированных В с задержкой С, D транзактов, С приоритетом Е, форматом F</p>
HELP		<p>Объединяет модули FPSS/PC с модулями на других языках</p>
INDEX		<p>Записываем сумму значений параметра А и величины В в параметр I типа А</p>
JOIN		<p>Включает в группу А транзакт или числовое значение В</p>
LEAVE		<p>Освобождает в памяти А В единиц памяти</p>

Имя блока	Обозначение блока	Назначение блока
LINK		Удаляет транзакт из списка текущих событий и помещает в список пользователя А
(X) LOGIC S R I		Устанавливает логический ключ А в состояние X
LOOP		Осуществляет повторение А раз группы блоков от адреса В до данного блока
MARK		Осуществляет отметку времени в параметре А
MATCH		Синхронизирует движение транзактов по блок-диаграмме совместно с блоком MATCH с меткой А
PREEMPT		Выполняет приоритетную обработку в устройстве А

Имя блока	Обозначение блока	Назначение блока
PRIORITY		Присваивает входящему транзакту приоритет А
QUEUE		Обеспечивает занятие в очереди АВ единиц
RELEASE		Освобождает устройство с номером А
RETURN		Снимает прерывание с устройства А
SAVAIL		Объявляет группу памяти А доступными
SAVEVALUE		Сохраняет заданное значение В в ячейке А

Имя блока	Обозначение блока	Назначение блока
SCAN		Обрабатывает атрибуты членов группы А
ZEISE		Занимает устройство с номером А
SPLIT		Генерирует А копий входящего транзакта и направляет их по адресу В, основной транзакт переходит в следующий блок
SUNAVAIL		Объявляет группу памяти А недоступными
TABULATE		Табулирует значения входящих транзактов в таблице А
TERMINATE		Уничтожает транзактов А

Имя блока	Обозначение блока	Назначение блока
TRACE		Прослеживает движение транзактов
(X) TEST E NE GE LE G L		Проверяет соотношение X между A и B и направляет входящий транзакт в следующий блок при выполнении или по адресу C при невыполнении соотношения
TRANSFER		Изменяет направление движения транзактов согласно режиму A

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Процедуры и команды

TRANS – номер транзакта;

BDT – время выхода сообщения из блока (это либо значение абсолютного условного времени, при котором транзакт покинет блок ADVANCE, либо значение условного времени в момент, когда сообщение вышло из последнего блока ADVANCE, либо нуль, если сообщение не входило ни в один блок ADVANCE);

BLOCK – номер блока, в котором сообщение находится в данный момент времени;

PR – уровень приоритета сообщения (0..127);

SF – режим выбора (определяет режим выбора следующего блока: пробел означает переход к следующему блоку; «B» означает, что транзакт находится в блоке TRANSFER, работающем в режиме BOTH; «A» означает режим ALL блока TRANSFER);

NBA – адрес следующего блока, в который должен войти транзакт;

SET – номер следующего транзакта того же семейства (при создании транзакта в SET записывается в номер самого транзакта. При входе в блок SPLIT в SET записывается номер следующего транзакта из образуемого семейства);

MARK – отметка времени (записывается в момент создания транзакта или при входе транзакта в блок MARK с пустым полем A);

P1, ..., P8 – текущие значения параметров 1..8;

S1 – индикатор просмотра (при S = 1 симулятор не будет пытаться продвинуть транзакт до измерения блокирующих условий; при снятии блокирующего условия S1 устанавливается равным нулю для всех транзактов, задержанных данным условием);

T1 – индикатор трассировки (устанавливается в единицу блоком TRACE и в нуль блоком UNTRACE),

D1 – индикатор задержки для блока TRANSFER SIM;

C1 – индикатор списка;

$$C1 = \begin{cases} 0 - \text{транзакт в списке пользователя,} \\ 1 - \text{движение транзакта прервано,} \\ 2 - \text{транзакт в списке текущих событий,} \\ 4 - \text{транзакт в списке будущих событий} \end{cases}$$

MC – индикатор синхронизации (если MC = 4, то транзакт находится в блоках MATCH, ASSEMBLE или GATHER);

PC – счетчик прерываний;

PF – флаг прерываний;

Определения команд

Тип	SNA	Определение	Блоки	Примечание
Транзакт (TRANSACTIONS)	P\$	Текущее значение параметра формата полуслово или слово	ASSIGN, INDEX, INCREMENT, MARK, LOCATE, USING, DECREMENT, LOOP SPLIT	
	PR\$1	Приоритет	PRIORITY	Первоначальное значение приоритета назначается в GENERATE, диапазон 0 - 127
	M\$1	Транзитное время		
	MP\$	Параметрическое транзактное время	MARK, ASSIGN, (при условии, что в операнде B SNA AC\$1, C\$1)	

Блоки (BLOCKS)	XN\$1	Номер транзакта		MP\$ном, где номер параметра транзакта – целое число 0 – 100 (по умолчанию)
	N\$	Счётчик входов в блок		
	W\$	Счетчик текущего содержимого блока		
Переменн ые (VARIABLES)	V\$	Арифметическа я и логическая переменные		
Функции (FUNCTIONS)	FN\$	Функция		
Таблицы (TABLES)	TB\$	Среднее значение аргумента таблицы	TABULATE	Значение SNA собирается автоматичес ки
	TC\$	Счетчик входов в таблицу		
Ячейки (SAVEVALUES)	TD\$	Среднее квадратическое отклонение аргумента		
	XH\$ X\$ XF\$	Текущее содержимое ячейки (формата полуслово – XH\$, слово – SF\$, X\$)	SAVEVALUE, SINGREMENT, SDECREMENT	Первоначаль ное значение ячеек при инициализац ии модели 0 или задаётся картой INITIAL

Тип	SNA	Определение	Блоки	Примечание
Списки пользователей (USERS CHAINS)	CA\$	Среднее число элементов в списке		Значение SNA собирается автоматически
	CH\$	Текущее число элементов в списке	LINK, UNLINK	
	CM\$	Максимальное число элементов в списке		
	CC\$	Общее число входов		
Ключи (LOGICS)	LR\$	Ключ сброшен логич. 1 или 0	LOGIC	
Очереди (QUEUES)	Q\$	Текущая длина очереди	QUEUE	Первоначально состояние ключа при инициализации модели «сброшен» или «установлен», если «установлен», если использовать карту LINITAL Значения SNA собираются автоматически
	QA\$	Средняя длина очереди		
	QM\$	Максимальная длина очереди		

Тип	SNA	Определение	Блоки	Примечание
Память (STORAGE)	QC\$	Общее число входов	ENTER, LEAVE	Значения SNA собираются автоматически
	QZ\$	Количество нулевых входов		
	QT\$	Среднее время пребывания транзакта в очереди		
	QX\$	Среднее время пребывания транзакта в очереди нулевых входов		
	S\$	Текущее содержимое памяти		
	R\$	Число свободных единиц памяти		
	SR\$	Коэффициент использования		
	SA\$	Среднее содержимое памяти		
	SM\$	Максимальное содержимое памяти		
	SC\$	Общее число входов		
	ST\$	Среднее время занятости единицы памяти		
	SE\$	Память пуста логич. 0 или 1		
	SNE\$	Память не пуста – " –		
	SF\$	Память заполнена – " –		
	SNF\$	Память не заполнена – " –		

Приборы (FACILITIES)	F\$	Состояние устройства лог. 0 или 1	SIEZE	Состояние устройств устанавлива ется автоматичес ки
	FI\$	Прибор в состоянии прерывания лог. 0 или 1	RELE ASE PREE MPT	
	FNI\$	Прибор не находится в состоянии прерывания лог. 0 или 1		
	FNU\$	Прибор не используется лог. 0 или 1		
	FSS\$	Номер транзакта, занимающего прибор		
	FP\$	Коэффициент использования устройства		
	FC\$	Общее число входов		
	FT\$	Среднее время пребывания транзакта в устройстве		

Системные атрибуты (SYSTEM ATTRIBUTES)	AC\$1	Абсолютное время	RESET	Относительное время после RESET обнуляется
	C\$1	Относительное время		
	TG\$1	Содержимое счетчика завершения	START	Содержимое счётчика уменьшается на число единиц, указанных в блоке TERMINATE
		Случайное число в интервале [0,1], используемое как аргумент функции, и случайное число в интервале [0,999] в карте f[variable]	TERMINATE	

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Советов, Б. Я. Моделирование систем [Текст]: учебник / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2001. – 344 с.
2. Советов, Б. Я. Моделирование систем. Практикум [Текст]: учеб. пособие / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2003. – 295 с.
3. Кудрявцев, Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем [Текст]: науч. издание / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 317 с.
4. Боев, В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World [Текст]: учеб. пособие / В. Д. Боев. – СПб.: Петербург, 2004. – 386 с.
5. Томашевский, В. Н. Имитационное моделирование средствами системы GPSS/PC [Текст]: учеб. пособие / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова. – Киев: ВМН, НТТУ КПИ, 2003. – 123 с.
6. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GPSS [Текст] / Т. Дж. Шрайбер. – М.: Машиностроение, 1980. – 593 с.
7. Шеннон, Р. Ю. Имитационное моделирование систем – искусство и наука [Текст] / Р. Ю. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 418 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	1
1.1. Основные понятия и определения	1
1.2. Классификация моделей	3
1.2.1. Классификация моделей по степени абстрагирования модели от оригинала	3
1.2.2. Классификация моделей по степени устойчивости	8
1.2.3. Классификация моделей по отношению к внешним факторам	9
1.2.4. Классификация моделей по отношению ко времени .	9
1.3. Этапы разработки модели.....	10
1.4. Типовые математические схемы моделирования.....	11
2. ЦЕЛИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	13
3. ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ	14
3.1. Блок-схема алгоритма функционирования системы.....	15
3.2. Блок-диаграмма GPSS-модели	17
3.4. Анализ стандартного отчета GPSS	21
4. СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА	27
5. ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ	28
6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	41
Приложение 1	42
Приложение 2	50
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	57

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовому проектированию по дисциплине
«Моделирование систем и сетей телекоммуникации»
для студентов специальности
090302 «Информационная безопасность
телекоммуникационных систем»
очной формы обучения

Составители:

Разинкин Константин Александрович
Никулин Дмитрий Александрович

В авторской редакции

Подписано к изданию 27.04.2015.
Уч.-изд. л. 3,7.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14