

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра интеллектуальных информационных технологий

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Рекомендовано Советом университета в качестве

пособия для студентов специальности АСОИ

дневной и заочной форм обучения

БРЕСТ 2010

УДК 681.3 (075.8)

ББК с57

М 91

Рецензенты:

- ведущий научный сотрудник лаборатории идентификации систем ОИПИ НАН Беларуси, к.т.н. Дудкин А.А.;
- доцент кафедры математического моделирования Брестского государственного университета им. А.С. Пушкина, к.т.н. Прописко Е.Е.

Муравьев Г.Л., Савицкий Ю.В., Хвещук В.И.

М 91 Моделирование систем. Курсовое проектирование. Пособие. – Брест: Издательство БрГТУ, 2010. – 128 с.

ISBN 978-985-493-170-8

Целью пособия является информационное и методическое обеспечение курсового проектирования студентов, связанного с моделированием систем на базе сетей с очередями и с использованием средств языка GPSS.

УДК 681.3 (075.8)

ББК с57

ISBN 978-985-493-170-8

© Издательство БрГТУ, 2010

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОДЕЛИРУЕМОЙ СИСТЕМЕ

Типовая моделируемая система состоит из частей (подсистем, компонентов, элементов) – узлов, обеспечивающих: обслуживание потоков запросов (заявок); управление процессами обслуживания и перемещением запросов в системе.

Роль узлов могут, например, выполнять устройства вычислительной системы, а роль заявок – обрабатываемые (решаемые) задачи, обслуживаемые информационные запросы. Роль узлов могут выполнять устройства сетевой инфраструктуры (серверы, каналы передачи данных), а роль заявок – пересылаемые данные, пакеты данных и т.п.

Можно выделить такие типизированные узлы, как устройства и памяти, которые обладают ограниченными ресурсами и предоставляют их запросам (заявкам) при обслуживании.

Узлы типа "устройство", как правило, имеют однотипные каналы (от одного и более) заданного быстродействия, которые обслуживают запросы. При этом каждый канал, как правило, обслуживает один запрос, а запрос может занимать (захватывать) любой свободный канал. Запрос задерживается в канале устройства на время обслуживания. Соответственно обслуживание запроса в устройстве может включать следующие фазы: занятие свободного канала (фаза захвата канала); обслуживание в канале (фаза задержки в канале на время обслуживания); освобождение канала (фаза освобождения канала). При отсутствии свободного канала запрос либо ожидает его появления (освобождения), либо, если это предусмотрено в системе, перемещается по альтернативному маршруту. То есть запросу отказывается в обслуживании в рассматриваемом узле.

Далее будем полагать, что по умолчанию (если иного не задано) быстродействие канала составляет одну операцию в единицу времени.

Узлы типа "память" обладают емкостью, которая может быть выделена запросу (фаза выделения памяти) или освобождена (фаза освобождения памяти). Соответственно при наличии свободной памяти в ней могут одновременно размещаться от одного и более запросов. Запрос, получивший место в памяти, незамедлительно отправляется далее по своему маршруту. При отсутствии требуемого свободного места запрос либо ожидает его освобождения, либо перемещается по альтернативному маршруту, т.е. ему отказывается в обслуживании в рассматриваемом узле. При этом будем полагать, что по умолчанию каждой заявке выделяется, а следовательно впоследствии и освобождается ровно одна единица памяти.

Запросы (заявки) на предоставление обслуживания поступают извне, образуя входные потоки заявок. Система реализует их обслуживание, организуя процессы обслуживания в соответствии со своим законом функционирования, и на ее выходе образуются выходные потоки заявок (например, потоки обслуженных запросов, потоки запросов, которым было отказано в обслуживании и т.д.).

Далее, если не будет оговорено специально, будем полагать, что все процессы в системе носят вероятностный характер. Это, в том числе, входные процессы, процессы обслуживания в узлах, маршруты движения заявок, а следовательно и функционирование системы в целом. При этом вероятностные характеристики процессов (законы распределений) с течением времени не меняются – стационарны. Соответственно отдельные запросы в потоке обладают уникальными (индивидуальными) параметрами, которые однако статистически однородны.

Потоки запросов задаются законами поступления, маршрутами движения, законами обслуживания.

Закон поступления потока запросов задается, например, законом распределения времени между соседними заявками в потоке, или только указанием типа закона (если это известный закон, имеющий, например, аналитическое описание) и его параметров. В последнем случае в упрощенном варианте закон поступления потока запросов может быть задан указанием типа закона и, например, только среднего времени между соседними заявками в потоке (или интенсивности потока запросов). Тогда все недостающие параметры законов выбирает разработчик.

Законы обслуживания запросов в системе для каждого типа запросов здесь задаются законами распределения трудоемкостей их обслуживания в узлах системы.

Так, закон обслуживания запросов в устройстве задается законом распределения трудоемкости обслуживания запросов в канале устройства или аналогичным законом распределения времени обслуживания запросов в канале устройства, если быстродействие канала – единица. Соответственно закон обслуживания запросов может задаваться и указанием типа закона (если это известный закон, имеющий аналитическое описание) и его параметров. Или указанием типа закона и, например, среднего времени обслуживания запросов в каналах устройств (или интенсивностей обслуживания). В последнем случае недостающие параметры законов выбирает разработчик.

Аналогично закон обслуживания запросов в памяти задается законом распределения памяти, потребляемой заявками потока. Закон, если он типовой, может задаваться указанием типа и его параметров. В последнем случае, как правило, указывается среднее значение потребляемой памяти, а все недостающие параметры закона выбирает разработчик. Кроме этого, для памяти указываются точки, места системы, где производится освобождение ранее занятой памяти, при необходимости оговариваются правила освобождения памяти.

Потоки запросов задаются так же приоритетами и характером их использования в узлах системы, условиями выбора альтернативных маршрутов, правилами использования ограниченных накопителей и т.п.

Сама моделируемая система может быть описана по-разному. В любом случае описание системы должно содержать сведения о ее параметрах, то есть о структуре системы и о протекающих в ней процессах. Это может быть текстовое описание системы с указанием основных элементов, устройств и потоков запросов на обслуживание.

Маршруты движения запросов в процессе обслуживания могут быть заданы матрицами переходов. Элементы $p(i, j)$ такой матрицы могут отображать условия (вероятности) движения запроса с выхода i -го узла на вход в j -ый узел. Может быть задана как общая матрица переходов, так, в случае необходимости, и отдельные матрицы переходов для каждого из потоков запросов. В первом случае внешняя среда (окружение системы) будет задана обобщенными узлами-источниками и узлами-приемниками.

Особенности использования таких узлов как памяти, ограниченные накопители (буферная память) и т.д., а также особенности управления обслуживанием в системе могут быть описаны вербально, текстом.

Далее в работе используются сокращения, приведенные в Приложении 1.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Пусть требуется промоделировать заданную систему. Здесь это означает, что требуется разработать и исследовать модели системы. А затем с использованием разработанных моделей необходимо оценить характеристики эффективности организации системы и эффективности обслуживания запросов в системе.

Вариант системы, описанный ниже как СИСТЕМА 1, будет использоваться далее в качестве основного примера, иллюстрирующего выполнение курсовой работы. Другие варианты систем (например, СИСТЕМА 2, 3 и т.д.), представленные в Приложении 2, будут использоваться фрагментарно для иллюстрации отдельных особенностей моделирования систем подобного типа.

Примеры (варианты) заданий (описаний систем), которые могут использоваться при организации курсового проектирования, приведены в Приложениях.

СИСТЕМА 1. Система в процессе функционирования и взаимодействия с внешней средой принимает запросы на предоставление обслуживания и реализует их обслуживание. С выхода системы снимаются обслуженные заявки. Процессы входа и функционирования системы носят вероятностный характер и стационарны.

Система состоит из одноканального устройства S_1 , многоканального устройства S_2 (число каналов, канальность $K_2 = 4$), памяти S_3 (фаза выделения памяти – узел $S_{3,1}$, фаза освобождения памяти – узел $S_{3,2}$). Каналы устройства имеют постоянные быстродействия. Емкость памяти ограничена.

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S_0), приемником обслуженных запросов (узел S_4). Число типов потоков запросов – два (при этом 40% составляют запросы первого типа и соответственно 60% запросы второго типа). Потоки запросов различаются параметрами законов поступления и обслуживания (в общем случае могут различаться как самими законами поступления и обслуживания, так и их параметрами).

Здесь законы поступления запросов обоих типов равномерные (т.е. время между соседними запросами во входном потоке представляет собой случайную величину, распределенную равномерно).

Законы обслуживания запросов обоих типов в каналах узлов равномерные. Это означает, что трудоемкость обслуживания каждого запроса в канале любого из узлов (а при постоянном быстродействии узла и соответствующее время обслуживания) представляет собой случайную величину, распределенную равномерно.

Законы обслуживания запросов обоих типов в узле типа память здесь задаются постоянной величиной – одно место в памяти (одна единица емкости памяти) на каждый запрос. Это означает, что трудоемкость обслуживания каждого запроса представляет собой детерминированную величину – каждая заявка пытается занять ровно одно место в памяти.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен ниже матрицей переходов P , где каждый элемент матрицы (здесь число) означает вероятность выбора определенного маршрута (таблица 1). Все элементы указанной матрицы – вероятности, сумма элементов каждой строки дает единицу, а сама матрица в этом случае называется вероятностной.

Таблица 1 – Исходная матрица переходов P

	S_0	S_1	S_2	$S_{3,1}$	$S_{3,2}$	S_4
S_0	0	0	0	1	0	0
S_1	0	0	1	0	0	0
S_2	0	0	0,5	0	0,5	0
$S_{3,1}$	0	1	0	0	0	0
$S_{3,2}$	0	0	0	0	0	1
S_4	0	0	0	0	0	1

Как видно из матрицы, заявки по приходу в систему пытаются разместиться в памяти, где они занимают место в течение всего времени обслуживания в сети и покидают память только по завершении обслуживания.

В системе при полном заполнении памяти (при нехватке памяти) запросам отказывается в обслуживании, они не попадают в систему и не принимают участие в ее функционировании. Считается, что такие запросы утеряны. Соответственно в системе кроме потока обслуженных запросов будет и поток утерянных запросов.

Параметры устройств и параметров потоков запросов указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры системы

№ вар.	ПОТОКИ			УСТРОЙСТВА					
	№	%	m_T	№	K	m_t	№	K	m_t
1	1	40%	50,0	1	1	5,0	2	4	30,0
	2	60%	33,3			3,3			20,0

Здесь:

% – доля запросов соответствующего типа в общем потоке запросов;

m_T – среднее время между соседними запросами во входном потоке;

K – количество каналов соответствующего устройства;

m_t – среднее время обслуживания запроса соответствующего типа в канале устройства.

Тип используемых математических моделей – сети с очередями, Q-модели. Способы расчета моделей – имитационный (в среде GPSS World на языке GPSS) и аналитический.

3. ПОЯСНЕНИЯ К ИСХОДНЫМ ДАННЫМ

Цель курсовой работы: разработка моделей системы [1, с. 10-11, 20-25], исследование как свойств моделей, так и свойств системы на моделях [1, с.86-88]. Граф, иллюстрирующий примерный состав разрабатываемых моделей, а также порядок их разработки представлен в Приложении 3.

Соответственно выполнение работы предполагает построение для заданной системы концептуальной модели (KM), а затем математических моделей [1, с. 33-36] в терминах стохастических сетей (CCM), в том числе ориентированных на использование системы моделирования GPSS. Детальная модель системы (GPSS-модель) реализуется имитационно в терминах выбранного языка имитационного моделирования (здесь GPSS). С помощью детальной модели системы выполняется исследование системы. Характер исследования уточняется совместно с руководителем работы.

Кроме этого, для исследования эффектов упрощений, их влияния на точность моделирования системы строится упрощенная модель в терминах сетей массового обслуживания (сетей MO), рассчитываемая аналитически (AM), и ряд упрощенных имитационных моделей (GPSS-моделей). В указанных исследованиях аналитическая модель выполняет роль модели-эталопа.

Примерное содержание расчетно-пояснительной записки, а также перечень отчетных материалов, которые должны быть представлены в пояснительной записке, приведен в Приложении 4.

Для заданной системы исходные данные в смысловом содержании можно интерпретировать, например, как цех (склад, два станка), в котором обрабатываются детали двух типов. В соответствии с технологией обработки детали попадают на склад, затем последовательно обрабатываются на первом и втором станке и только после этого освобождают место на складе. Такую систему можно также интерпретировать как вычислитель-

ную систему (память, два процессора), в которой обрабатываются информационные запросы двух типов и т.д.

В таблице 2 для системы указана в процентах доля запросов каждого типа. Соответственно скорость (интенсивность) поступления запросов первого типа $\lambda^{(1)}_0$ составляет 0,4 от общей скорости поступления запросов в систему.

Для каждого из входных потоков запросов задано среднее время m_i длительностей t между соседними заявками в потоке (соответственно 50 и 33,3 единиц времени). Тогда скорость (интенсивность) поступления запросов первого и второго типа составляет соответственно $\lambda^{(1)}_0 = 0,02$ и $\lambda^{(2)}_0 = 0,03$ запросов в единицу времени.

Задано, что законы $f^{(i)}$, (функции плотности) поступления заявок в систему – распределения времени t (тау) между соседними заявками в первом и втором потоке $f^{(1)}_i$, $f^{(2)}_i$ – равномерные с указанными выше средними значениями m_i . Для равномерных законов также необходимо знать рассеивание времени (границы отклонения от среднего значения), которое здесь не задано.

Задано, что законы распределения требуемого числа операций в канале устройства $S_1 - f^{(1)}_{e,1}$, $f^{(2)}_{e,1}$ (функции плотности) и устройства $S_2 - f^{(1)}_{e,2}$, $f^{(2)}_{e,2}$ – равномерные с указанными выше средними значениями m_i . Здесь также для равномерных законов необходимо знать границы отклонения от среднего значения, которые здесь не заданы.

Маршруты движения запросов в основном одинаковы, запросы всех типов обслуживаются в обоих устройствах, соответственно задана общая матрица переходов.

У каждого устройства есть определенное число обслуживающих каналов. В таблице 2 значение K означает количество каналов в устройстве (канальность устройства). Быстродействия каналов устройств – значения V_1 и V_2 не заданы. Их требуется выбрать самостоятельно.

Но для каждого потока запросов и каждого устройства, где обслуживается поток, здесь заданы средние времена (m_i) обслуживания в канале заявок соответствующего типа. То есть заданы средние значения $t^{(i)}_j$ длительности обслуживания в канале каждого узла j запросов i -го потока. Соответственно можно считать, что быстродействия каналов единичные, т.е. $V_1 = 1$ и $V_2 = 1$.

Так среднее время обслуживания запросов первого типа в первом и втором устройстве составляет соответственно $t^{(1)}_1 = 5$ и $t^{(1)}_2 = 30$ единиц времени. Среднее время обслуживания запросов второго типа в первом и втором устройстве составляет соответственно $t^{(2)}_1 = 3,3$ и $t^{(2)}_2 = 20$ единиц времени.

Ниже иллюстрируются альтернативные варианты описания рассматриваемой системы.

Вариант 1 состоит в явном отображении особенностей использования узла памяти S_2 в случае нехватки ее емкости для размещения вновь прибывших запросов.

Для этого вводится дополнительный узел – приемник S_5 для тех запросов, которым по этой причине было отказано в обслуживании. При этом предполагается, что выбор маршрута движения от узла S_0 к узлу $S_{3,1}$ (захват и использование памяти) или к узлу S_5 (отказ в обслуживании) задается условием, проверяемым для каждого пришедшего из узла S_0 запроса. В общем случае оно формулируется как: "есть ли в узле S_3 свободная емкость памяти, требуемая пришедшему запросу"? Поскольку здесь запросам требуется ровно одна единица емкости памяти, то условие может быть переформулировано как – "память S_3 не заполнена"?

Соответственно матрица переходов P может выглядеть как показано ниже в таблице 3, где символы "и" (значение проверяемого условия – истина), "л" (значение проверяемого условия – ложь) маркируют условия движения запроса с выхода узла S_0 на вход в узел $S_{3,1}$ или узел S_5 .

Таблица 3 – Матрица переходов P (альтернативное задание для СИСТЕМЫ 1)

	S ₀	S ₁	S ₂	S _{3,1}	S _{3,2}	S ₄	S ₅
S ₀				и			п.
S ₁			1				
S ₂			0,5		0,5		
S _{3,1}		1					
S _{3,2}						1	
S ₄						1	
S ₅							1

Остальная информация, параметры системы задаются как в первоначальном описании.

Вариант 2 состоит в явном описании особенностей использования только устройств системы, что и отображается в матрице переходов. Соответственно порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен ниже матрицей переходов P.

Таблица 4 – Матрица переходов P (альтернативное задание для СИСТЕМЫ 1)

	S ₀	S ₁	S ₂	S ₄
S ₀		1		
S ₁			1	
S ₂			0,5	0,5
S ₄				1

Система состоит из одноканального устройства S₁, многоканального устройства S₂, памяти S₃. Внешняя среда представлена источником запросов (узел S₀), приемником обслуженных запросов (узел S₄). Число типов потоков запросов – два. Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания.

При поступлении в систему запросы попадают в память S₃. Емкость памяти ограничена. Память освобождается после завершения обработки в системе. При нехватке памяти запросам отказывается в обслуживании, и они не попадают в систему.

Остальная информация, параметры системы задаются как в первоначальном описании.

4. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Общее описание основных составляющих технологии моделирования приведено в [10, с.27]. На начальном этапе моделирования строится концептуальная, гипотетическая (КМ) модель объекта, системы [1, с.93, 10, с.13]. Ее построение начинается с анализа исходных данных о системе и процессах обслуживания и предполагает:

- определение и формулирование целей моделирования системы, выявление и описание задач, решаемых с помощью моделирования;
- выявление основных частей системы и соответственно модели системы, их назначения, особенностей функционирования. В том числе выявление структурных частей (подсистем, компонентов, таких элементов, как устройства, памяти и т.п.) и процессов (функций), протекающих в них [10, с. 6-8];
- описание закона функционирования модели, известных функциональных, причинно-следственных связей;
- выявление существенных для целей исследования системы параметров (элементов и процессов) и характеристик и их описание. В том числе, описание источников, процедур получения значений параметров, оценка возможных диапазонов изменения параметров, ограничений на их значения и т.п. [10, с. 9-10];

- описание состава характеристик модели (узловых и системных), подлежащих определению, описание способов их вычисления; выбор способа представления, полноты оценки характеристик (например, вычисление характеристик на уровне оценок средних значений, на уровне оценок средних значений и дисперсий и т.д.); формулирование критериев эффективности системы.

При разработке концептуальных моделей необходимо также выполнить анализ:

- возможностей использования для целей моделирования системы типовых математических моделей (например, автоматных моделей; агрегатных моделей, Q-схем и т.д. [1, с.49-50, 10, с. 11-14, с. 23-26]); здесь при моделировании системы используются Q-схемы, поэтому следует дать краткую характеристику типовым математическим моделям и обосновать выбор Q-схем [10, с.25];

- существующих средств и методов реализации выбранной типовой модели (например, в виде аналитических или имитационных моделей); необходимо обосновать выбор инструментальных средств языков программирования, языков и систем моделирования, альтернативных средств моделирования [1, с.152-168, 10, с. 66-70]. Здесь используется система GPSS, поэтому следует дать краткую характеристику типовым средствам моделирования и обосновать выбор системы GPSS.

При описании узлов и характера их использования (фаз использования) необходимо именовать (вводить обозначения) соответствующие узлы. Некоторые варианты именования приведены ниже:

- сквозная нумерация узлов с учетом их принадлежности к управлению одними и теми же ресурсами (разными фазами использования устройств, памяти и т.п.). Например, узлы (фазы) управления устройством № k именуются как $S_{k,1}, S_{k,2}, S_{k,3}, \dots$;

- сквозная нумерация узлов с учетом их принадлежности к управлению одними и теми же ресурсами (разными фазами использования устройств, памяти и т.п.) со стороны запросов разных потоков. Например, узлы (фазы) управления устройством № k со стороны запросов i-го и j-го потоков именуются как $S_{k,1}^{(i)}, S_{k,2}^{(i)}, S_{k,3}^{(i)}, \dots S_{k,1}^{(j)}, S_{k,2}^{(j)}, S_{k,3}^{(j)}, \dots$;

- сквозная нумерация узлов как S_1, S_2, \dots .

При выполнении работы рекомендуется использовать первый вариант нумерации узлов, а всю недостающую (не определенную в задании) информацию о функционировании и строении системы, необходимую для ее моделирования, исполнителю следует доопределить по согласованию с руководителем работы.

4.1. Предварительное описание концептуальной модели

Предварительное описание концептуальной модели производится непосредственно по исходным данным. Разработка и описание модели системы ведется с учетом выбранной математической модели (здесь модели в терминах Q-схемы [1, с. 64-69]). Соответственно выполняется описание параметров структуры S и функционирования F модели $\langle S, F \rangle$.

Описывается структура системы с отображением и обозначением всех элементов, где производятся какие-либо действия, например, по задержке, блокировке, обслуживанию, анализу, синхронизации процессов и т.д., выполняется ее графическое изображение.

Выполняется графическое описание маршрутов движения запросов всех типов на структуре модели. При этом рекомендуется раздельное графическое описание маршрутов движения заявок каждого из типов (особенно для типов запросов, значительно отличающихся маршрутами движения и способом обработки). Стиль изображения в значи-

тельной мере произвольный, принятый в Q-схемах [1, с. 64-69]. Допустимо изображение элементов-узлов точками, а маршрутов движения заявок линиями, соединяющими узлы, с указанием направления перемещения запросов.

В пояснительном тексте: вводятся обозначения типов запросов и их параметров, описываются законы распределения параметров, маршруты движения и т.п.; вводятся обозначения узлов и параметров узлов, комментируются их назначение, функции, описываются законы распределения параметров узлов, дисциплины обслуживания и т.п.; вводятся обозначения характеристик (например, узловых и системных, в разрезе типов запросов и в целом по всем видам запросов), уточняются методы их получения, процедуры вычисления.

4.1.1. Построение исходной схемы Q-модели

По описанию системы строим первоначальную схему Q-модели. Схема изображается графом: точки (вершины) представляют узлы системы; стрелки (направленные дуги, ребра) представляют возможные направления перемещения запросов в процессе обслуживания в системе. Граф взвешенный – направлениям переходов (дугам) ставятся в соответствие условия перехода, в т.ч. задаваемые вероятностями.

Схема Q-модели строится по потокам, т.е. для каждого из потоков по отдельности. При этом общие узлы обозначаются во всех схемах одинаково. Если маршруты движения потоков совпадают, то вначале возможна разработка общей схемы Q-модели. А затем она разбивается на поточные схемы.

Для построения схемы вначале используем заданный состав узлов, ресурсов системы и матрицу переходов P. Для каждого потока заявок (или общего потока) выявляем фазы, этапы обслуживания (от появления заявки в системе до выхода из системы) и связанные с ними узлы, ресурсы и переходы.

Для заданной системы маршруты движения потоков совпадают, поэтому вначале разрабатываем общую схему Q-модели.

Для этого анализируем матрицу P, начиная с источника запросов – узла S_0 . По матрице определяем маршрут движения и обслуживания запросов – здесь отмечаем наличие перехода от узла S_0 с вероятностью единица к узлу $S_{3,1}$. Затем анализируем строку матрицы для узла $S_{3,1}$ и определяем наличие перехода с вероятностью единица к узлу S_1 и т.д., пока не опишем весь маршрут заявок – матрицу P. Полученные результаты наносим на схему (рис. 1, 2).

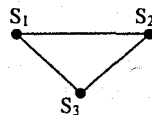


Рисунок 1 – Ресурсы системы

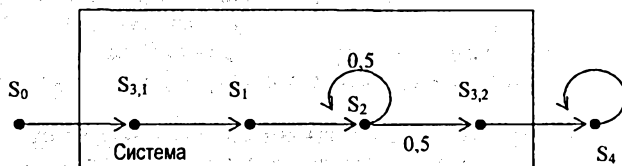


Рисунок 2 – Общая (исходная) схема Q-модели

4.1.2. Описание ресурсов системы и узлов Q-модели

Основные обслуживающие ресурсы системы – устройства, памяти, накопители и т.д.

Для заданной системы ресурсы включают: устройства S_1 , S_2 и память S_3 .

Описываем состав узлов:

S_0 – источник запросов (генератор);

$S_{3,1}$ – узел выделения памяти S_3 (анализ наличия и выделение). В задании не определена емкость памяти S_3 и дисциплина ее использования;

S_1 – устройство с обслуживанием в одном канале;

S_2 – устройство с обслуживанием в одном из 4-х каналов;

$S_{3,2}$ – узел (фаза) освобождения ранее занятой емкости памяти S_3 ;

S_4 – приемник обслуженных запросов.

4.1.3. Описание параметров обслуживающих узлов

Выявляются все исходные данные, параметры, определяющие функционирование обслуживающих узлов типа – устройство, многоканальное устройство, память.

Для заданной системы параметры обслуживающих узлов представлены ниже в Таблице 5.

Таблица 5 – Параметры обслуживающих узлов (СИСТЕМА 1)

Узел	Параметры	Значение
S_1	$z_{1,1}$ – тип узла	устройство
	$z_{1,2}$ – канальность K_1	1
	$z_{1,3}$ – быстродействие канала B_1	1
	$z_{1,4}$ – дисциплина обслуживания	FIFO*
	Примечание: основные фазы – захват одного свободного канала $S_{1,1}$; обслуживание с постоянной скоростью B в канале $S_{1,2}$; освобождение канала $S_{1,3}$	
S_2	$z_{2,1}$ – тип узла	устройство
	$z_{2,2}$ – канальность K_2	4
	$z_{2,3}$ – быстродействие канала B_2	1
	$z_{2,4}$ – дисциплина обслуживания	FIFO*
	Примечание: основные фазы – захват одного свободного канала $S_{2,1}$; обслуживание с постоянной скоростью B в канале $S_{2,2}$; освобождение канала $S_{2,3}$	
S_3	$z_{3,1}$ – тип узла	память
	$z_{3,2}$ – емкость V_3	2** единицы
	$z_{3,3}$ – дисциплина обслуживания	FIFO*
	Примечание: основные фазы – захват необходимой свободной части памяти $S_{3,1}$; $S_{3,2}$ – освобождение памяти	

Далее уточняем выявленные недостающие параметры. Здесь (в таблице помечены символами – * и **): 1. Не указаны дисциплины (порядок) обслуживания запросов (порядок выбора новой заявки на обслуживание при освобождении ресурса и наличии очереди) в ресурсах. Поэтому берем простейшую дисциплину – FIFO. 2. Не задана емкость памяти. Выбираем сами. Значение этого параметра придется уточнить: а) после анализа параметров потоков запросов – их потребности в памяти; б) после реализации модели на GPSS.

4.1.4. Анализ потоков заявок и описание их параметров

Производится анализ процесса обработки запросов каждого из потоков и выявляются их параметры, необходимые для конкретизации процессов обслуживания. Для параметров, которые являются случайными величинами, надо описать законы распределений в виде функций плотности f_x или распределений F_x .

В том числе необходимо выявить:

1. Законы поступления запросов в систему – законы распределения времени t (τ) между соседними заявками в i -м потоке $f^{(i)}_{\tau}$. Запросы могут поступать:

- через один и тот же промежуток времени – регулярный поток;
- через случайные промежутки времени, имеющие одно и то же статистическое распределение – стационарный вероятностный, стохастический поток;
- через случайные промежутки времени с меняющимся статистическим распределением – нестационарный вероятностный, стохастический поток;
- через промежутки времени по определенному детерминированному закону и т.д.

2. Законы поведения (распределения) потребностей (число операций канала, емкость памяти, накопителя) запросов потока (трудоемкостей обслуживания) в каждом из потребляемых ресурсов. Например, это может быть фиксированная трудоемкость; трудоемкость как случайная величина, имеющая одно и то же статистическое распределение и т.д. Это:

- законы распределения трудоемкости обслуживания θ (тета) запросов каждого типа i в канале устройства j – $f^{(i)}_{\theta,j}$. Если у устройства быстродействие равно единице, то численно трудоемкость (число операций канала, требуемое для обслуживания запроса) заявки совпадает с длительностью t обслуживания (задержкой обслуживания) и имеет то же распределение – $f^{(i)}_{t,j}$;

- законы распределения трудоемкости обслуживания v запросов каждого типа i в памяти j (распределение потребляемой памяти) – $f^{(i)}_{v,j}$.

Для заданной системы известно, что обрабатывается два потока заявок с похожими маршрутами обработки, но с разными законами, параметрами поступления и обслуживания. Обозначим потоки номерами – 1 и 2. Тогда множество потоков $Q = \{1; 2\}$. Мощность множества $Q = 2$.

Потоки имеют вероятностный характер, стационарны. Соответственно для каждого потока надо определить, конкретизировать следующие законы (распределения):

1. Равномерные законы поступления заявок в систему – плотности распределения времени t (τ) между соседними заявками в первом и втором потоке – $f^{(1)}_{\tau}$, $f^{(2)}_{\tau}$. Для них заданы средние значения m_{τ} длительностей t .

2. Равномерные законы – плотности распределения требуемого числа операций в канале устройства S_1 – $f^{(1)}_{\theta,1}$, $f^{(2)}_{\theta,1}$ и устройства S_2 – $f^{(1)}_{\theta,2}$, $f^{(2)}_{\theta,2}$. Здесь заданы средние значения m_{θ} длительностей t , т.е. средние значения длительности обслуживания в канале узла j для потока типа i – $t^{(i)}$.

3. Законы распределения потребляемой емкости памяти S_3 для заявок первого и второго потоков – $f^{(1)}_{v,3}$, $f^{(2)}_{v,3}$. Здесь законы не определены; поэтому их нужно доопределить самостоятельно и согласовать с руководителем. Для примера будем считать, что законы потребления памяти заявками регулярные – каждой заявке выделяется ровно одна единица памяти. Она же и освобождается заявкой.

Теперь опишем законы распределений, используемые в системе. Здесь все они носят равномерный характер. Известно, что функция плотности чисел X , равномерно распределенных в диапазоне $[a; b]$, описывается как

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & \text{если } a \leq x \leq b; \\ 0, & \text{в остальных случаях,} \end{cases}$$

и выглядит, как показано на рисунке 3.

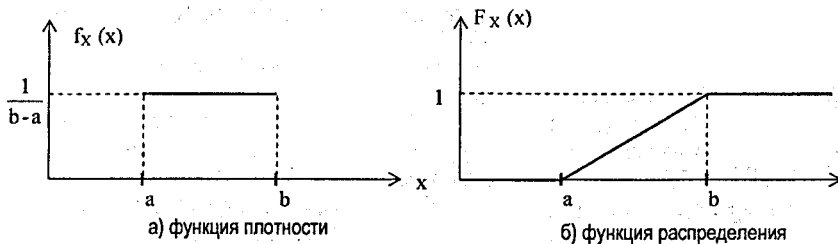


Рисунок 3 – Равномерный закон распределения

Соответственно функция распределения равномерного закона описывается как

$$F_X(x) = \int_0^x f_X(t) dt = \begin{cases} 1, & x > b; \\ \frac{x-a}{b-a}, & b \geq x \geq a; \\ 0, & x < a. \end{cases}$$

Само распределение задается двумя параметрами: a – левая граница, b – правая граница ($b > a$). При описании распределений t , t , θ и v левая граница a должна быть положительной величиной.

Распределение имеет известные значения моментов:

$$m_x = (a+b)/2 \text{ и } D_x = (b-a)^2/12$$

Соответственно здесь необходимо задать:

- функцию плотности $f^{(1)}$, т.е. параметры $a^{(1)}$ и $b^{(1)}$;
- функцию плотности $f^{(2)}$, т.е. параметры $a^{(2)}$ и $b^{(2)}$;
- функцию плотности $f^{(1)}_{\theta,1}$, т.е. параметры $a^{(1)}_{\theta,1}$ и $b^{(1)}_{\theta,1}$;
- функцию плотности $f^{(2)}_{\theta,1}$, т.е. параметры $a^{(2)}_{\theta,1}$ и $b^{(2)}_{\theta,1}$;
- функцию плотности $f^{(1)}_{\theta,2}$, т.е. параметры $a^{(1)}_{\theta,2}$ и $b^{(1)}_{\theta,2}$;
- функцию плотности $f^{(2)}_{\theta,2}$, т.е. параметры $a^{(2)}_{\theta,2}$ и $b^{(2)}_{\theta,2}$.

Так как скорости каналов всех устройств фиксированы и по умолчанию приняты за единицу, то четыре последних распределения являются автоматически распределениями задержек (длительностей) обслуживания запросов и также являются равномерными:

- функция плотности $f^{(1)}_{t,1} = f^{(1)}_{\theta,1}$;
- функция плотности $f^{(2)}_{t,1} = f^{(2)}_{\theta,1}$;
- функция плотности $f^{(1)}_{t,2} = f^{(1)}_{\theta,2}$;
- функция плотности $f^{(2)}_{t,2} = f^{(2)}_{\theta,2}$.

При этом, чтобы сохранить заданные в описании системы средние значения m_t, \dots, m_x значения параметров законов следует выбирать исходя из условия их симметричности относительно заданных средних значений.

4. Доопределим также условия захвата необходимой емкости памяти заявками обеих типов, а именно: "ТекущаяСвободнаяЕмкостьПамяти > 0 - ?".

Особенности задания параметров для СИСТЕМЫ 4, связанные с использованием произвольных распределений, задаваемых таблично, приведены в Приложении 2.

4.2. Уточнение состава узлов концептуальной модели

4.2.1. Выявление дополнительных узлов и построение уточненной схемы Q-модели

Уточняем схему модели. Для этого анализируем описание системы, ранее полученные схемы Q-моделей. Выявляем, локализуем отдельные действия (фазы) в процессе

обработки заявок каждого потока в виде дополнительных узлов (управляющих, маршрутных, источников, приемников и др.).

Для заданной системы (см. рисунок 2) вводятся дополнительные узлы S_6, S_5, S_7 . Это обусловлено следующими соображениями:

- после узла S_0 необходим добавочный узел S_6 анализа наличия свободной емкости памяти S_3 для пришедшей заявки и выбора дальнейшего маршрута движения запроса – в память на узел $S_{3,1}$ или в приемник отказанных заявок. С функционированием S_6 связано ранее сформулированное условие выбора маршрута движения запроса: наличие свободного места в памяти, достаточного для пришедшего запроса;

- кроме этого, необходим узел S_5 – приемник заявок, не вошедших в систему из-за нехватки памяти;

- после выхода из узла S_2 дальнейший маршрут заявки определяется вероятностным выбором из двух альтернатив. Соответственно необходим узел S_7 , “разыгрывающий” для каждой пришедшей заявки выбор маршрута в соответствии с заданными вероятностями.

Уточненная схема модели для СИСТЕМЫ 1 безотносительно к потокам запросов приведена на рисунке 4.

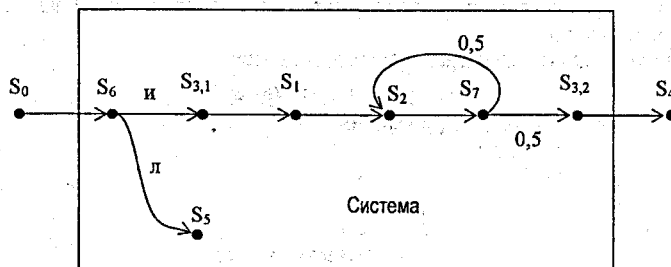


Рисунок 4 – Уточнённая схема Q-модели

4.2.2. Уточнение матрицы переходов

В соответствии с данными, полученными на предыдущем этапе, новыми узлами уточняем матрицу переходов.

Для заданной системы порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен ниже матрицей переходов P.

Таблица 6 – Уточненная матрица переходов P (для СИСТЕМЫ 1; безотносительно к потокам запросов)

	S_0	S_6	$S_{3,1}$	S_1	S_2	S_7	$S_{3,2}$	S_4	S_5
S_0		1							
S_6			и						л
$S_{3,1}$				1					
S_1					1				
S_2						1			
S_7					0,5		0,5		
$S_{3,2}$								1	
S_4								1	
S_5									1

4.3. Уточнение концептуальной модели с учетом потоков заявок

Означает построение и описание концептуальной модели с учетом неоднородности системы, которая выражается в наличии нескольких типов потоков запросов на обслуживание. Соответственно необходимо выполнить описание процесса обработки запросов каждого из типов.

4.3.1. Выявление дополнительных узлов и построение уточненных схем потоков Q-модели

Уточняем ранее полученные схемы Q-моделей (см. рисунок 4) с учетом наличия разных потоков заявок.

Для заданной системы учитываем наличие двух потоков заявок, которые обслуживаются однотипно – с одинаковыми маршрутами и на тех же ресурсах, узлах системы. Отличие состоит в параметрах законов поступления, а также в параметрах законов обслуживания в устройствах.

Соответственно нужны два разных источника запросов, поэтому узел S_0 заменяем на узлы $S_{0,1}$, $S_{0,2}$, или здесь на $S^{(1)}_0$ и $S^{(2)}_0$.

Кроме этого нужны разные приемники обслуженных и отказанных заявок – новые узлы $S^{(1)}_4$, $S^{(2)}_4$, $S^{(1)}_5$, $S^{(2)}_5$.

Тогда новый состав узлов $S = \{ S^{(1)}_0, S^{(2)}_0, S_1, S_2, S_{3,1}, S_{3,2}, S^{(1)}_4, S^{(2)}_4, S^{(1)}_5, S^{(2)}_5, S_6, S_7 \}$.

А уточненные схемы Q-модели для каждого из типов потоков запросов представлены на рисунках 5 и 6.

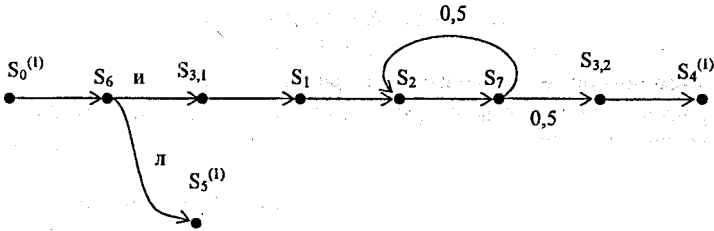


Рисунок 5 – Схема Q-модели первого потока

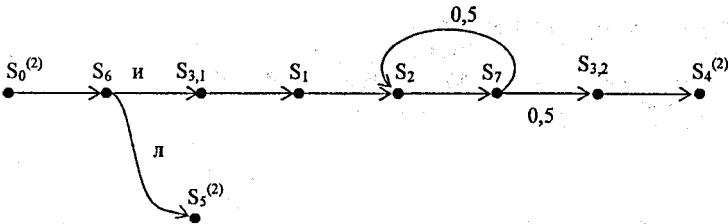


Рисунок 6 – Схема Q-модели второго потока

Особенности описания схем моделей, связанные с управлением маршрутами движения запросов, приведены в Приложении 2 для СИСТЕМЫ 5.

4.3.2. Построение матриц переходов запросов

В соответствии с данными, полученными на предыдущем этапе, уточняем матрицы переходов для каждого из типов потоков запросов.

Для заданной системы порядок движения запросов обоих типов в процессе обслуживания в системе представлен ниже матрицами переходов $P^{(1)}$ и $P^{(2)}$.

Таблица 7 – Матрица переходов $P^{(1)}$ для 1-го потока

	$S^{(1)0}$	S_6	$S_{3,1}$	S_1	S_2	S_7	$S_{3,2}$	$S^{(1)4}$	$S^{(1)5}$
$S^{(1)0}$		1							
S_6			и						п
$S_{3,1}$				1					
S_1					1				
S_2						1			
S_7					0,5		0,5		
$S_{3,2}$								1	
$S^{(1)4}$								1	
$S^{(1)5}$									1

Таблица 8 – Матрица переходов $P^{(2)}$ для 2-го потока

	$S^{(2)0}$	S_6	$S_{3,1}$	S_1	S_2	S_7	$S_{3,2}$	$S^{(2)4}$	$S^{(2)5}$
$S^{(2)0}$		1							
S_6			и						п
$S_{3,1}$				1					
S_1					1				
S_2						1			
S_7					0,5		0,5		
$S_{3,2}$								1	
$S^{(2)4}$								1	
$S^{(2)5}$									1

4.3.3. Описание параметров потоков запросов

Для каждого i -го потока запросов, обслуживаемых в системе, необходимо описать следующий набор параметров:

- параметры $\vec{h}_0^{(i)}$ законов поступления запросов;
- параметры обслуживания запросов на ресурсах системы, т.е. для каждого j -го узла системы и i -го потока запросов вектор параметров $\vec{h}_j^{(i)}$.

Для заданной системы значения параметров потоков приведены в таблицах 9 и 10.

Таблица 9 – Параметры первого потока

Параметр	Описание параметра	Значение
$h^{(1)0,1}$	закон $f^{(1)}$, распределения времени t между заявками в потоке	случайный
$h^{(1)0,2}$	тип закона	равномерный
$h^{(1)0,3}$	левая граница времени $t - a^{(1)}$	25
$h^{(1)0,4}$	правая граница времени $t - b^{(1)}$	75
$h^{(1)1,1}$	закон $f^{(1)}_{0,1} = f^{(1)}_{1,1}$ распределения трудоемкости θ (времени t) обслуживания в канале узла S_1	случайный
$h^{(1)1,2}$	тип закона	равномерный
$h^{(1)1,3}$	левая граница трудоемкости $\theta - a^{(1)}_{0,1}$	2,5
$h^{(1)1,4}$	правая граница трудоемкости $\theta - b^{(1)}_{0,1}$	7,5
$h^{(1)2,1}$	закон $f^{(1)}_{0,2} = f^{(1)}_{2,2}$ распределения трудоемкости θ (времени t) обслуживания в канале S_2	случайный
$h^{(1)2,2}$	тип закона	равномерный
$h^{(1)2,3}$	левая граница $a^{(1)}_{0,2}$	15
$h^{(1)2,4}$	правая граница $b^{(1)}_{0,2}$	45
$h^{(1)3,1}$	объем потребляемой памяти	1

Таблица 10 – Параметры второго потока

Параметр	Описание параметра	Значение
$h^{(2)}_{0,1}$	закон $f^{(2)}$ распределения времени t между заявками в потоке	случайный
$h^{(2)}_{0,2}$	тип закона	равномерный
$h^{(2)}_{0,3}$	левая граница $a^{(2)}$	16,3
$h^{(2)}_{0,4}$	правая граница $b^{(2)}$	50,3
$h^{(2)}_{1,1}$	закон $f^{(2)}_{\theta,1} = f^{(2)}_{\tau,1}$ распределения трудоемкости θ (времени t) обслуживания в канале S_1	случайный
$h^{(2)}_{1,2}$	тип закона	равномерный
$h^{(2)}_{1,3}$	левая граница $a^{(2)}_{\theta,1}$	1,7
$h^{(2)}_{1,4}$	правая граница $b^{(2)}_{\theta,1}$	4,9
$h^{(2)}_{2,1}$	закон $f^{(2)}_{\theta,2} = f^{(2)}_{\tau,2}$ распределения трудоемкости θ (времени t) обслуживания в канале S_2	случайный
$h^{(2)}_{2,2}$	тип закона	равномерный
$h^{(2)}_{2,3}$	левая граница $a^{(2)}_{\theta,2}$	10
$h^{(2)}_{2,4}$	правая граница $b^{(2)}_{\theta,2}$	30
$h^{(2)}_{3,1}$	объем потребляемой памяти	1

Здесь для запросов обоих типов описаны следующие параметры:

- параметры законов поступления $\bar{h}_0^{(1)}, \bar{h}_0^{(2)}$;
- параметры обслуживания запросов на ресурсах системы.

Последние включают:

- параметры $\bar{h}_1^{(1)}, \bar{h}_1^{(2)}$ обслуживания запросов в устройстве S_1 ;
- параметры $\bar{h}_2^{(1)}, \bar{h}_2^{(2)}$ обслуживания запросов в устройстве S_2 ;
- параметры $\bar{h}_3^{(1)}, \bar{h}_3^{(2)}$ обслуживания запросов в памяти S_3 .

В таблицах уточнены новые параметры, выявленные при детализации схем. Например, определены границы равномерных распределений, такие как $a^{(1)}_{\tau}, b^{(1)}_{\tau}, a^{(2)}_{\tau}, b^{(2)}_{\tau}$ и др. При этом, чтобы сохранить заданные в описании системы средние значения m_i, t_i длительностей τ и t (см. Таблица 2. Параметры системы), указанные границы здесь следует выбирать из условия их симметричности относительно заданных средних значений.

4.3.4. Описание параметров узлов

Теперь необходимо описать параметры всех узлов сети, включая введенные при детализации схем.

Для заданной системы параметры узлов Q-модели (см. рисунки 5, 6) приведены ниже в таблице 11.

Таблица 11 – Параметры узлов Q-модели

Узел	Параметр	Описание параметра	Значение
$S^{(1)}_0$	$z^{(1)}_{0,1}$	- тип узла	источник запросов
	$z^{(1)}_{0,2}$	- назначение	генерация потока запросов 1-го типа
	$z^{(1)}_{0,3}$	- закон $f^{(1)}$ распределения времени t между заявками в потоке	случайный
	$z^{(1)}_{0,4}$	- тип закона	равномерный
	$z^{(1)}_{0,5}$	- левая граница времени t - $a^{(1)}$	25
	$z^{(1)}_{0,6}$	- правая граница времени t - $b^{(1)}$	75
$S^{(2)}_0$	$z^{(2)}_{0,1}$	- тип узла	источник
	$z^{(2)}_{0,2}$	- назначение	генерация потока заявок 2-го типа

Продолжение табл. 11

	$z^{(2)0,3}$	- закон $f^{(2)}$; распределения времени t между заявками в потоке	случайный
	$z^{(2)0,3}$	- тип закона	равномерный
	$z^{(2)0,3}$	- левая граница времени $t - a^{(2)}$	16,3
	$z^{(2)0,3}$	- правая граница времени $t - b^{(2)}$	50,3
S_1	$z_{1,1}$	- тип узла	устройство
	$z_{1,1}$	- канальность K_1	1
	$z_{1,3}$	- быстродействие канала V_1 [заявка/1 времени]	1
	$z_{1,4}$	- дисциплина обслуживания	FIFO
		Примечание – основные фазы использования узла: захват одного свободного канала $S_{1,1}$; обслуживание с постоянной скоростью $V_{S_{1,2}}$; освобождение канала $S_{1,3}$	
S_2	$z_{2,1}$	- тип узла	устройство
	$z_{2,2}$	- канальность K_2	4
	$z_{2,3}$	- быстродействие канала V_2	1
	$z_{2,4}$	- дисциплина обслуживания	FIFO
		Примечание – основные фазы использования узла: захват одного свободного канала $S_{2,1}$; обслуживание с постоянной скоростью $V_{S_{2,2}}$; освобождение канала $S_{2,3}$	
S_3	$z_{3,1}$	- тип узла	память
	$z_{3,2}$	- емкость V_3	2
	$z_{3,3}$	- дисциплина обслуживания	FIFO
		Примечание – основные фазы использования узла: захват необходимой свободной части памяти $S_{3,1}$; $S_{3,2}$ – освобождение памяти	
$S_{3,1}$	$z_{3,4}$	- тип узла	управление памятью – фаза выделения памяти
	$z_{3,5}$	- закон распределения выделяемой памяти	регулярный
	$z_{3,6}$	- выделяемая память одной заявке каждого типа	одна единица
$S_{3,2}$	$z_{3,7}$	- тип узла	управление памятью – фаза освобождения памяти
S_6	$z_{6,1}$	- тип узла	управляющий
	$z_{6,2}$	- назначение	анализ наличия свободной емкости памяти и выбор маршрута движения запроса
	$z_{6,3}$	- проверяемое условие	$v_i \leq R_3$
		примечание: v_i – память, требуемая i -й заявке, а R_3 – текущий объем свободной памяти	
S_7	$z_{7,1}$	- тип узла	маршрутный
	$z_{7,2}$	- назначение	вероятностный выбор маршрута
	$z_{7,3}$	- вектор вероятностей переходов	0,5; 0,5
$S^{(1)}_4$	$z^{(1)}_{4,1}$	- тип узла	приемник
	$z^{(1)}_{4,2}$	- назначение	прием обслуженных заявок 1-го типа
$S^{(2)}_4$	$z^{(2)}_{4,1}$	- тип узла	приемник
	$z^{(2)}_{4,2}$	- назначение	прием обслуженных заявок 2-го типа
$S^{(1)}_5$	$z^{(1)}_{5,1}$	- тип узла	приемник
	$z^{(1)}_{5,2}$	- назначение	прием потерянных заявок 1-го типа
$S^{(2)}_5$	$z^{(2)}_{5,1}$	- тип узла	приемник
	$z^{(2)}_{5,2}$	- назначение	прием потерянных заявок 2-го типа

4.3.5. Описание узловых и системных характеристик

Состав характеристик сетей с очередями, стохастических сетевых моделей и формулы для их расчета приведены в [10, с.71-73], а для сетей МО – в [10, с. 115-118].

Для заданной системы узловые характеристики системы, рассчитываемые на Q-модели, представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Узловые характеристики Q-модели

Узел	Характеристика	Описание
S ₁	$l_1, k^{(1)}_1, l^{(2)}_1$	средняя длина очереди, в т.ч. для 1-го и 2-го потока запросов
	$m_1, m^{(1)}_1, m^{(2)}_1$	среднее число запросов в узле (включая запросы в очередях), в т.ч. для 1-го и 2-го потока запросов
	$\rho_1, \rho^{(1)}_1, \rho^{(2)}_1$	коэффициент загрузки узла, в т.ч. запросами 1-го и 2-го потока
	$\omega_1, \omega^{(1)}_1, \omega^{(2)}_1$	среднее время ожидания в очереди, в т.ч. для 1-го и 2-го потока запросов
	$u_1, u^{(1)}_1, u^{(2)}_1$	среднее время пребывания в узле (включая ожидание в очереди), в т.ч. для 1-го и 2-го потока запросов
S ₂	$\alpha_1, \alpha^{(1)}_1, \alpha^{(2)}_1$	коэффициенты передач, в т.ч. для 1-го и 2-го потока
	$l_2, k^{(1)}_2, l^{(2)}_2$	средняя длина очереди, в т.ч. для 1-го и 2-го потока
	$m_2, m^{(1)}_2, m^{(2)}_2$	среднее число заявок в узле (включая очереди), в т.ч. для 1-го и 2-го потока
	$\rho_2, \rho^{(1)}_2, \rho^{(2)}_2$	коэффициент загрузки узла, в т.ч. заявками 1-го и 2-го потока
	$\omega_2, \omega^{(1)}_2, \omega^{(2)}_2$	среднее время ожидания в очереди, в т.ч. для 1-го и 2-го потока
S ₃	$u_2, u^{(1)}_2, u^{(2)}_2$	среднее время пребывания в узле (включая ожидание в очереди), в т.ч. для 1-го и 2-го потока
	$\alpha_2, \alpha^{(1)}_2, \alpha^{(2)}_2$	коэффициенты передач, в т.ч. для 1-го и 2-го потока
	$m_3, m^{(1)}_3, m^{(2)}_3$	среднее число заявок в узле (включая очереди), в т.ч. для 1-го и 2-го потока
	$\rho_3, \rho^{(1)}_3, \rho^{(2)}_3$	коэффициент загрузки узла, в т.ч. заявками 1-го и 2-го потока
	$u_3, u^{(1)}_3, u^{(2)}_3$	среднее время пребывания в узле, в т.ч. для 1-го и 2-го потока
	$\alpha_3, \alpha^{(1)}_3, \alpha^{(2)}_3$	коэффициенты передач, в т.ч. для 1-го и 2-го потока

Здесь $\alpha_1, \alpha^{(1)}_1, \alpha^{(2)}_1$ – коэффициенты передач запросов, в т.ч. для первого и второго потока.

Системные характеристики, рассчитываемые на Q-модели, представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Системные характеристики Q-модели

Характеристика	Описание	Вычисление
L, L ⁽¹⁾ , L ⁽²⁾	средняя суммарная длина очередей в системе, в т.ч. для 1-го и 2-го потока запросов	$L = l_1 + l_2$ $L^{(1)} = k^{(1)}_1 + k^{(1)}_2, L^{(2)} = k^{(2)}_1 + k^{(2)}_2$
M, M ⁽¹⁾ , M ⁽²⁾	среднее суммарное число запросов в системе (включая очереди), в т.ч. для 1-го и 2-го потока запросов	$M = m_1 + m_2$ $M^{(1)} = m^{(1)}_1 + m^{(1)}_2,$ $M^{(2)} = m^{(2)}_1 + m^{(2)}_2$
W, W ⁽¹⁾ , W ⁽²⁾	среднее время ожидания запроса в системе, в т.ч. для 1-го и 2-го потока запросов	$W = \omega_1 \cdot \alpha_1 + \omega_2 \cdot \alpha_2$ и т.д.
U, U ⁽¹⁾ , U ⁽²⁾	среднее время пребывания запроса в системе (включая ожидание в очередях), в т.ч. для 1-го и 2-го потока запросов	$U = u_1 \cdot \alpha_1 + u_2 \cdot \alpha_2$ и т.д.
$p_6, p^{(1)}_6, p^{(2)}_6$ $(q_6, q^{(1)}_6, q^{(2)}_6)$	вероятность обработки запроса в системе (или отказа), в т.ч. для 1-го и 2-го потока запросов	ЧислоВхожденийВУзел S _{3,1} / ОбщееЧислоЗапросов

5. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Здесь означает построение математических моделей в терминах стохастических сетевых моделей (ССМ) [10, с. 71-74]. Типовой набор узлов ССМ представлен на рис. 7, а построение математических моделей в терминах ССМ иллюстрируется рис. 8, 9. Типовой набор узлов ССМ включает следующие узлы:

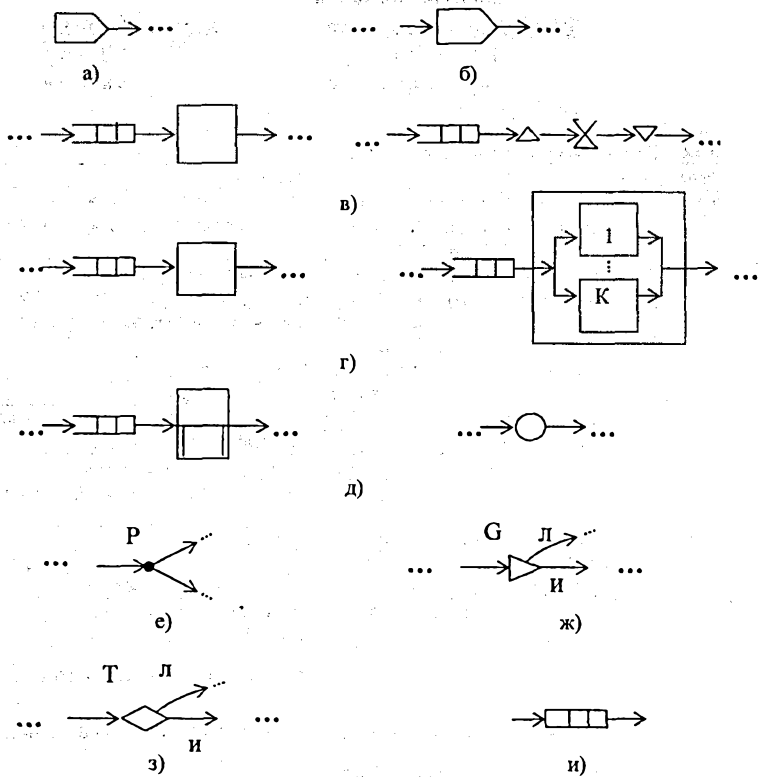


Рисунок 7 – Типовые узлы ССМ

а – одиночный (независимый) источник (генератор) заявок, создающий поток заявок с заданным распределением параметра t – времени (τ) между соседними заявками в потоке;

б – групповой источник, создающий в начальный момент моделирования “пачку” заявок (их число определяется параметром узла M). Указанный источник в процессе функционирования модели при появлении на его входе заявки (как правило, обслуженной в системе) сразу же направляет в систему взамен новую заявку, поддерживая тем самым постоянное число M заявок этого типа в системе;

в – одноканальное устройство, изображаемое одним блоком или в виде трех узлов-фаз (узел захвата канала, узел задержки на длительность обслуживания в канале, узел освобождения канала);

г – многоканальное устройство, изображаемое одним блоком с показом или без показа каналов или в виде трех узлов-фаз (узел захвата канала, узел задержки на длительность обслуживания в канале, узел освобождения канала);

д – узлы-фазы (узел захвата емкости памяти, узел освобождения емкости памяти) описания использования памяти;

е – вероятностный маршрутный узел (типа P), “разыгрывающий” дальнейший маршрут движения заявки в соответствии с заданными вероятностями выбора маршрутов;

ж – управляющий (маршрутный) узел (типа G), проверяющий заданное состояние указанного ресурса модели (устройства или памяти) и выбирающий дальнейший маршрут движения заявки в зависимости от результата проверки (“истина” или “ложь”). Имеет обязательный прямой выход, соответствующий условию “истина”. Может иметь дополнительный выход, соответствующий условию “ложь”;

з – управляющий (маршрутный) узел (тип T), проверяющий заданное условие и выбирающий дальнейший маршрут движения заявки в зависимости от результата проверки (“истина” или “ложь”). Имеет обязательный прямой выход, соответствующий условию “истина”. Может иметь дополнительный выход, соответствующий условию “ложь”;

и – ограниченный накопитель. Для него, кроме емкости памяти должны быть определены как способ захвата памяти, так и ее порядок ее освобождения. В типовом случае – “классический” накопитель представляет собой память, выделяемую заявкам из расчета одна заявка – одно место в памяти (если иное не оговорено). При ее нехватке заявка теряется (если иное не оговорено). А освобождение памяти производится после завершения обслуживания в устройстве, на входе в которое размещен накопитель.

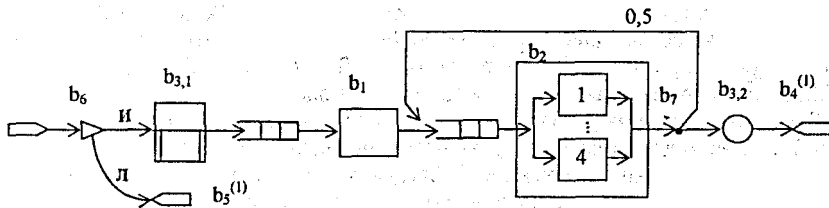


Рисунок 8 – ССМ обработки запросов первого потока

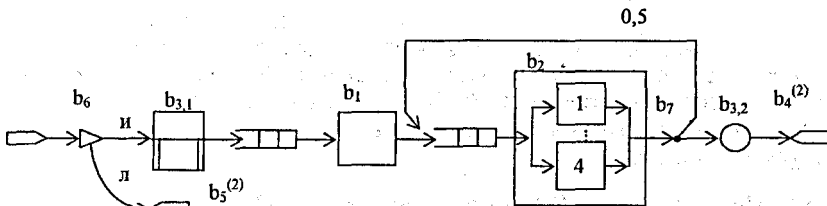


Рисунок 9 – ССМ обработки запросов второго потока

Соответственно для получения стохастических сетевых моделей необходимо в ранее полученных схемах обслуживания потоков запросов (в Q-моделях) заменить их узлы на подходящие узлы ССМ из числа описанных выше.

Для заданной системы результаты построения математической модели в терминах ССМ представлены на рисунках 8, 9.

Использованные в ССМ узлы кратко описаны в таблице 14.

Таблица 14 – Описание узлов ССМ

Узел Q-модели	ССМ-узел	Описание узла
$S_0^{(1)}$	$b_0^{(1)}$	одиночный источник запросов
$S_0^{(2)}$	$b_0^{(2)}$	одиночный источник запросов
S_1	b_1	устройство
S_2	b_2	устройство
S_3	b_3	память

Продолжение табл.14

$S_{3,1}$	$b_{3,1}$	узел выделения памяти
$S_{3,2}$	$b_{3,2}$	узел освобождения памяти
S_6	b_6	узел типа G
S_7	b_7	узел типа P
$S^{(1)}_4$	$b^{(1)}_4$	приемник запросов
$S^{(2)}_4$	$b^{(2)}_4$	приемник запросов
$S^{(1)}_5$	$b^{(1)}_5$	приемник запросов
$S^{(2)}_5$	$b^{(2)}_5$	приемник запросов

6. РАЗРАБОТКА GPSS-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Здесь означает построение математической модели, реализуемой, рассчитываемой имитационным способом. Такая модель называется имитационной математической моделью (ИМ). Расчет модели будет производиться в системе моделирования GPSS World, т.е. разработанную модель надо описать на входном языке системы – на языке GPSS.

Построение имитационной модели на языке моделирования GPSS [10, с. 75-108, 2-4] здесь выполняется по схеме: CCM -> GPSS-ориентированная CCM -> GPSS-модель. То есть в качестве основы для разработки ИМ берется ранее построенная CCM. Она модифицируется с учетом особенностей языка GPSS – результат GPSS-ориентированная CCM. А затем на ее основе строится и сама GPSS-модель.

Справочная информация по основным командам языка GPSS приведена в Приложении 5. Состав отчетных данных – результатов моделирования, формируемых системой GPSS World, приведен в Приложении 6. Сведения по управлению системой GPSS World можно найти в Приложении 8. Дополнительные сведения по использованию GPSS приведены в Приложениях 9-11.

Общие требования к стилю реализации имитационных моделей (помимо адекватности, корректности функционирования): обеспечение максимальной универсальности модели, возможности задания значений параметров модели без изменения текста модели; структурированность, читаемость текста. Для этого в GPSS-моделях следует максимально использовать возможности GPSS по инициализации сохраняемых величин и матриц сохраняемых величин для задания значений параметров, символьные имена и т.п. (Приложение 11).

6.1. Построение GPSS-ориентированной CCM

С учетом вышесказанного построение имитационной модели здесь сводится к построению GPSS-ориентированной CCM [2, 10, с. 75-108], поскольку для реализации CCM имитационным способом в системе моделирования GPSS следует учесть ряд особенностей входного языка GPSS и соответственно модифицировать исходную CCM.

Некоторые особенности входного языка GPSS в плане его применения для отображения CCM изложены ниже в виде соответствующих правил модификации. Правила иллюстрируются рисунком 10. На рисунке для каждого правила слева приведен фрагмент исходной CCM, а справа – преобразованный фрагмент, соответствующий изобразительным возможностям языка GPSS.

Правила модификации CCM:

1. Для моделирования в GPSS разомкнутой CCM в замкнутом режиме (рисунок 10, а) необходимо для каждого потока заявок: убрать приемник (на рисунке это узел b_2), а выход системы завести напрямую на ее вход; заменить одиночный источник заявок (на рисунке это узел b_1) групповым источником без входа (на рисунке это узел b_3).

2. Для моделирования в GPSS замкнутой ССМ или для моделирования неоднородной сети (рисунок 10, б) необходимо для каждого замкнутого потока: завести выход системы напрямую на ее вход; заменить исходный групповой источник (на рисунке это узел b_1) групповым источником без входа (на рисунке это узел b_2).

3. Одноканальное устройство (на рисунке это узел b_1) при необходимости детального изображения представляется в виде узлов-фаз (на рисунке это узлы $b_{1,1}$, $b_{1,2}$, $b_{1,3}$), отображающих захват канала, занятие канала на время обслуживания заявки и освобождение канала (рисунок 10, в).

4. Многоканальное устройство (на рисунке это узел b_1) представляется на базе узла типа "память" (емкость памяти здесь равна числу каналов K устройства) в виде узлов-фаз ($b_{2,1}$, $b_{2,2}$, $b_{2,3}$), отображающих захват канала, занятие канала на время обслуживания заявки и освобождение канала (рисунок 10, г). Каждой заявке выделяется ровно одна единица памяти (занимается один канал), она же после обслуживания освобождается. Длительность задержки фазы $b_{2,2}$ моделирует обслуживание заявки в канале устройства.

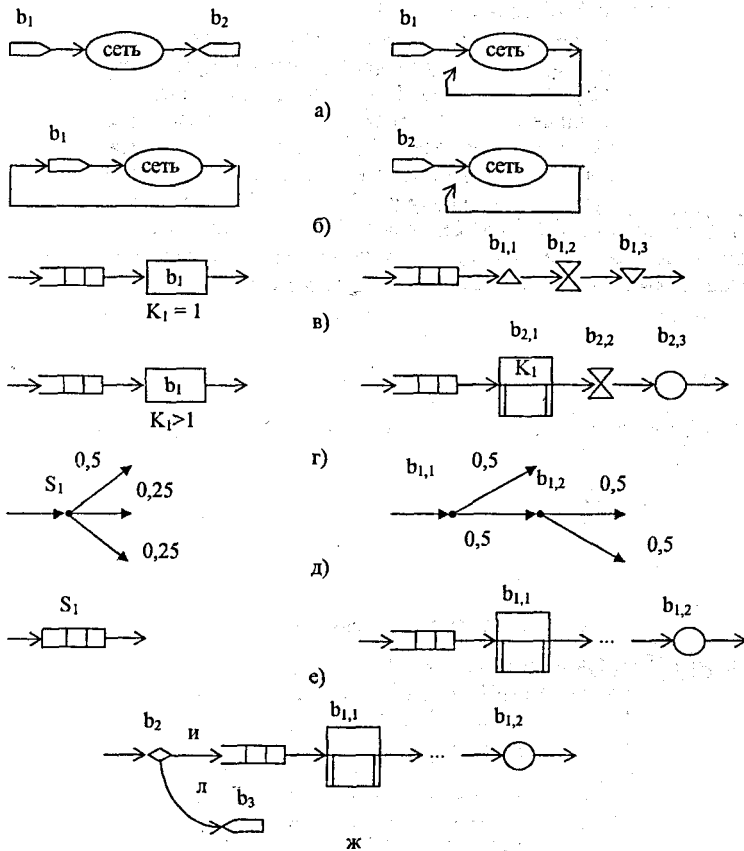


Рисунок 10 – Преобразование ССМ в GPSS-ориентированную ССМ

5. Вероятностные маршрутные узлы CCM (узлы типа P) с произвольным числом альтернативных маршрутов (на рисунке это узел s_1 с тремя маршрутами) при необходимости следует заменить набором аналогичных маршрутных узлов с двумя альтернативными маршрутами (на рисунке это узлы $b_{1,1}$, $b_{1,2}$), пересчитав соответствующим образом вероятности выбора маршрутов.

6. Управляющий узел типа G может использоваться в GPSS-ориентированной CCM только для анализа состояний устройств, памятей, логических ключей. При его использовании следует переформулировать проверяемое им условие по правилам языка GPSS [10, с. 103-104]. Во всех других случаях следует применять узел типа T.

7. Управляющий узел типа T может использоваться в GPSS-ориентированной CCM для анализа истинности заданных выражений. Соответственно при его использовании следует переформулировать проверяемое условие по правилам GPSS [10, с. 103-104].

8. "Классический" накопитель (на рисунке это узел s_1) с ограниченной емкостью памяти, функционирующий без потерь заявок, моделируется как узел-память (на рисунке 10, е он представлен узлами-фазами $b_{1,1}$, $b_{1,2}$).

9. "Классический" накопитель (на рисунке это узел s_1) с ограниченной емкостью памяти, функционирующий в режиме отказа при ее заполнении, т.е. с потерей заявок, моделируется как узел-память (на рисунке 10, ж он представлен узлами-фазами $b_{1,1}$, $b_{1,2}$).

На его входе размещается узел (на рисунке это узел b_2) типа T, проверяющий наличие памяти для каждой пришедшей заявки. При отсутствии свободной памяти заявка направляется в узел-приемник потерянных заявок (на рисунке это узел b_3).

Для заданной системы можно получить GPSS-ориентированные CCM, применяя указанные правила (№ 3, 4, 6 и др.) к исходным CCM, представленным на рисунках 8, 9.

Полученный результат для первого потока запросов представлен на рисунке 11, а в таблице 15 описаны параметры дополнительных узлов.

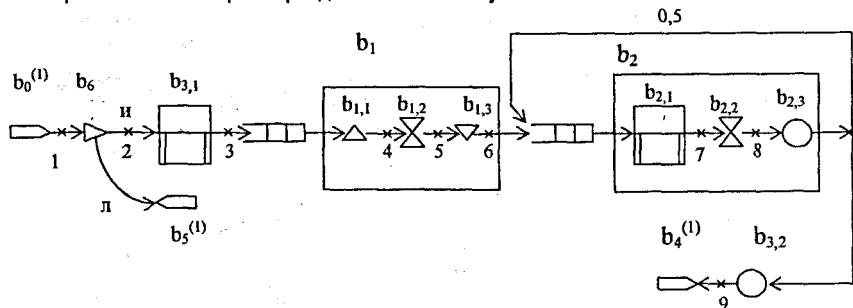


Рисунок 11 – CCM, ориентированная на GPSS (первый поток)

Таблица 15 – Параметры GPSS-узлов

Узел	Узлы-фазы	Параметр	Значение
b_1	$b_{1,1}$		
	$b_{1,2}$	задержка	2,5-7,5; 1,7-4,9
	$b_{1,3}$		
b_2	$b_{2,1}$		
	$b_{2,2}$	задержка	15-45; 10-30
	$b_{2,3}$		
b_3		емкость	2

6.2. Организация сбора статистики

Для сбора в ходе моделирования данных, необходимых для расчета статистических оценок прогнозируемых узловых и системных характеристик системы, необходимо в модели определить точки сбора данных.

Это пары точек (контрольных точек) $\{ (x_k, y_k) \}$. Здесь x_k – первая, а y_k – вторая точка схемы ССМ, в которых фиксируются данные по каждой заявке, включая время прохождения указанных точек. По этим данным рассчитывается, в частности, среднее время пребывания заявок в каждом фрагменте сети, заключенном между контрольными точками.

В GPSS каждой паре таких точек соответствует идентификатор, формируемый по правилам формирования имен GPSS [10, с. 90-91, 2-4]. Будем называть его здесь ИмяПарыТочек. Это может быть натуральное число, строковый идентификатор.

Место размещения первой точки пары определяется местом размещения в модели оператора

queue ИмяПарыТочек,

соответственно место размещения второй точки пары определяется местом размещения в модели оператора

depart ИмяПарыТочек.

Соответствующая справочная информация, необходимая для управления сбором статистики, приведена в Приложениях 5-6.

Для заданной системы способ измерения узловых характеристик иллюстрируется таблицей 16, где указаны точки сбора данных.

Таблица 16 – Измерение узловых характеристик ССМ

Узел	Характеристика	Точки или узел замера	ИмяПарыТочек
b ₁	$l_1, l^{(1)}_1, l^{(2)}_1$	3-4	w_b_1
	$\omega_1, \omega^{(1)}_1, \omega^{(2)}_1$		
	$m_1, m^{(1)}_1, m^{(2)}_1$	3-6	u_b_1
$u_1, u^{(1)}_1, u^{(2)}_1$			
$\rho_1, \rho^{(1)}_1, \rho^{(2)}_1$	узел b ₁		
b ₂	$l_2, l^{(1)}_2, l^{(2)}_2$	6-7	w_b_2
	$\omega_2, \omega^{(1)}_2, \omega^{(2)}_2$		
	$m_2, m^{(1)}_2, m^{(2)}_2$	6-8	u_b_2
$u_2, u^{(1)}_2, u^{(2)}_2$			
$\rho_2, \rho^{(1)}_2, \rho^{(2)}_2$	узел b ₂		
b ₃	$m_3, m^{(1)}_3, m^{(2)}_3$	2-9	u_b_3
	$u_3, u^{(1)}_3, u^{(2)}_3$		
	$\rho_3, \rho^{(1)}_3, \rho^{(2)}_3$		

Точки измерения данных для вычисления системных характеристик, а также формулы для их расчета через узловые характеристики, приведены в таблице 17.

При этом на схеме ССМ (рисунок 11) сами точки сбора статистики обозначены символом "x" или "1".

Таблица 17 – Измерение и вычисление системных характеристик ССМ

Характеристика	Вычисление	Точки или узел замера	ИмяПарыТочек
$L, L^{(1)}, L^{(2)}$ $W, W^{(1)}, W^{(2)}$	$L = l_1 + l_2$ $L^{(1)} = l^{(1)}_1 + l^{(1)}_2,$ $L^{(2)} = l^{(2)}_1 + l^{(2)}_2,$ $W = \omega_1 \cdot \alpha_1 + \omega_2 \cdot \alpha_2$ и т.д.	3-4 плюс 6-7	W_system

Продолжение табл. 17

$M, M^{(1)}, M^{(2)}$ $U, U^{(1)}, U^{(2)}$	$M = m_1 + m_2$ $M^{(1)} = m^{(1)}_1 + m^{(1)}_2$ $M^{(2)} = m^{(2)}_1 + m^{(2)}_2$ $U = u_1 \cdot \alpha_1 + u_2 \cdot \alpha_2$ и т.д.	2-9	U_system
$p_e, p^{(1)}_e, p^{(2)}_e$ $(q_e, q^{(1)}_e, q^{(2)}_e)$	ЧислоВхожденийВУзел $b_{3,1}$ / ОбщееЧислоЗаявок	узлы $b^{(1)}_{3,1}, b^{(2)}_{3,1}$	

7. РАЗРАБОТКА, РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ УПРОЩЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

7.1. Разработка аналитической модели

Аналитические модели (АМ) – это математические модели, рассчитываемые аналитически, формульно и позволяющие для заданных значений параметров системы непосредственно получать, рассчитывать значения характеристик системы.

Здесь рассматривается порядок построения аналитической модели на основе такой математической модели, как сеть массового обслуживания (сеть МО). Для точного формульного расчета сеть МО должна, в частности, быть разомкнутой, однородной, линейной и экспоненциальной [10, с. 73-74, с. 112].

Сама исходная ССМ может быть:

- неоднородной, если в ней обслуживаются потоки заявок нескольких типов;
- не экспоненциальной, если как законы поступления, так и законы обслуживания заявок не экспоненциальны (т.е. не описываются показательными распределениями);
- может содержать неразрешенные в сетях МО ресурсы (например, память, узлы захвата и освобождения памяти, узлы выбора маршрутов в зависимости от состояний узлов и в соответствии с заданными условиями и т.п.), т.е. любые узлы, кроме источников, приемников, устройств и маршрутных вероятностных узлов.

Соответственно задача построения аналитической модели состоит в том, чтобы получить указанную разомкнутую, однородную, линейную, экспоненциальную сеть МО из исходной ССМ путем внесения в нее соответствующих упрощений и рассчитать ее характеристики. Для этого необходимо:

1. Преобразовать исходную ССМ в сеть МО разомкнутого типа.
2. Преобразовать полученную сеть МО в однородную сеть.
3. Преобразовать полученную сеть МО в экспоненциальную сеть.
4. Для полученной экспоненциальной сети МО при необходимости доопределить ее параметры, уточнить формулы расчета узловых и системных характеристик.
5. Выполнить расчет узловых и системных характеристик. Основные расчетные формулы приведены в Приложении 7.

Перечисленные этапы иллюстрируются ниже.

7.1.1. Построение сети массового обслуживания

Для получения сети МО в исходной ССМ следует оставить только разрешенные узлы: источники, приемники, устройства (одно- и многоканальные) и вероятностные маршрутные узлы.

Для заданной системы построенные ранее стохастические сетевые модели или модели, ориентированные на GPSS (рисунки 8, 9, 11) являются разомкнутыми, неоднородными (обслуживают два типа потоков заявок), не экспоненциальными (законы поступления и обслуживания заявок равномерные) и к тому же содержат такие неразрешенные в

сетях МО ресурсы, как память, узлы захвата и освобождения памяти, узел выбора маршрута в зависимости от состояния памяти.

Поэтому из исходной ССМ удаляем:

- узел b_6 и связанные с ним альтернативные пути (маршруты) и соответствующие приемники заявок $b^{(1)}_5$ и $b^{(2)}_5$, оставляя тем самым только основные маршруты с известными вероятностями их прохождения. При этом теперь вероятность движения заявки от узла b_0 к узлу b_1 равна единице;

- удаляем узел памяти b_3 и связанные с ним узлы $b_{3,1}$ и $b_{3,2}$.

Поскольку маршруты перемещения заявок оказываются одинаковыми для первого и второго потоков, то полученный результат представлен на рисунке 12 для заявок первого потока. Здесь узел b_1 является одноканальным, а узел b_2 многоканальным.

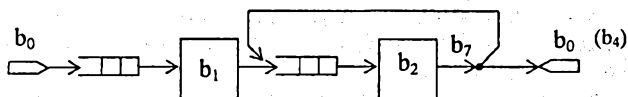


Рисунок 12 – Сеть МО для первого потока

7.1.2. Введение одноканальных узлов

Замена многоканальных узлов одноканальными не является обязательной. Указанная замена может выполняться для упрощения расчетов, однако, как правило, вносит значительные погрешности.

Здесь она используется для аналитического определения эффекта замены многоканальных узлов одноканальными и расчета соответствующих погрешностей. Далее будем называть такую сеть МО "одноканальной" сетью.

Для этого для каждого многоканального узла j с канальностью K_j и для каждого потока i (который обслуживается в этом узле) пересчитаем исходные трудоемкости обслуживания запросов. То есть пересчитаем средние значения длительности обслуживания в канале $t^{(i)}_j$ и получим новые значения $t^{*(i)}_j$ по формуле:

$$t^{*(i)}_j = t^{(i)}_j / K_j.$$

Для заданной системы многоканальным является узел b_2 (с $K_2 = 4$), т.е. $j = 2$. Через этот узел проходят заявки обоих типов (т.е. заявки типов $i = 1$ и $i = 2$). Заменяем узел эквивалентным одноканальным узлом b^*_2 с канальностью $K_2 = 1$.

Получаем для первого потока заявок $t^{*(1)}_2 = t^{(1)}_2 / K_2 = 30 / 4 = 7,5$.

Соответственно для второго потока заявок $t^{*(2)}_2 = t^{(2)}_2 / K_2 = 20 / 4 = 5$.

Структура сети, представленная на рисунке 12, остается той же.

7.1.3. Построение однородной сети массового обслуживания

Заменяем все потоки заявок системы одним потоком с усредненными параметрами обслуживания. Для этого выполним следующие действия:

1. Определим суммарную скорость (интенсивность) поступления запросов

$$\lambda^*_0 = \lambda_0 = \sum_{i=1}^{K(2)} \lambda_0^{(i)},$$

а также среднее время m^*_r между соседними заявками в усредненном потоке как

$$m^*_r = 1 / \lambda_0.$$

2. Для каждого j -го узла типа устройство пересчитаем трудоемкости обслуживания запросов $t^{(i)}_j$. Т.е. пересчитаем исходные средние значения длительностей обслуживания

ния запросов разных типов в каналах обслуживающих узлов и получим новые усредненные значения t_j^* ; безотносительно к типу i потока заявок. Соответственно расчет эквивалентных трудоемостей производится по формуле:

$$t_j^* = \sum_{i=1}^{|\mathcal{Q}|} p^{(i)} * t_j^{(i)},$$

где $p^{(i)}$ – доля (вероятность) заявок i -го типа в общем потоке заявок, обслуживаемых узлом; \mathcal{Q} – множество обслуживаемых потоков заявок.

Аналогично при необходимости могут быть пересчитаны трудоемкости обслуживания узлов "одноканальной" сети, полученной в соответствии с предыдущим параграфом путем сведения многоканальных узлов к одноканальным.

Для заданной системы учитываем наличие устройств с номерами $j = 1$ и 2 и множества обслуживаемых потоков заявок $\mathcal{Q} = \{ 1, 2 \}$ и определяем по исходным данным интенсивности потоков как $\lambda_0^{(1)} = 0,02$ и $\lambda_0^{(2)} = 0,03$ и вероятности заявок каждого типа в общем потоке заявок как $p^{(1)} = 0,4$; $p^{(2)} = 0,6$.

Заменяем оба потока заявок одним потоком с усредненными параметрами. Тогда интенсивность потока

$$\lambda_0^* = \lambda_0 = \lambda_0^{(1)} + \lambda_0^{(2)} = 0,02 + 0,03 = 0,05,$$

соответственно среднее время, через которое поступают заявки, составляет $m^*_1 = 20$ единиц времени.

Тогда эквивалентное среднее значение длительности обслуживания заявок усредненного потока в узле b_1 составит

$$t^*_1 = p^{(1)} * t^{(1)}_1 + p^{(2)} * t^{(2)}_1 = 0,4 * 5 + 0,6 * 3,3 = 4.$$

Соответственно для узла b_2 получим

$$t^*_2 = p^{(1)} * t^{(1)}_2 + p^{(2)} * t^{(2)}_2 = 0,4 * 30 + 0,6 * 20 = 24.$$

Здесь значения трудоемостей $t^{(1)}_1 = 5$, $t^{(2)}_1 = 3,3$, $t^{(1)}_2 = 30$, $t^{(2)}_2 = 20$ берутся из исходных данных (таблица 2).

Структура соответствующей аналитической модели – однородной разомкнутой сети массового обслуживания представлена на рисунке 13.

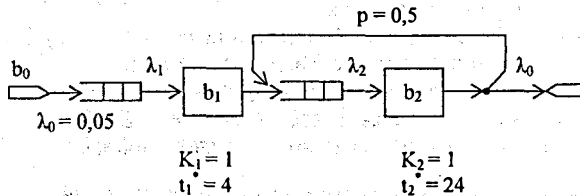


Рисунок 13 – Однородная разомкнутая сеть массового обслуживания (аналитическая модель)

Для одноканального варианта заданной системы структура соответствующей "одноканальной" однородной разомкнутой сети массового обслуживания представлена на рисунке 14.

Здесь придется пересчитать эквивалентные средние значения длительности обслуживания узлов с учетом значений трудоемостей $t^{(1)}_1 = 5$, $t^{(2)}_1 = 3,3$, $t^{(1)}_2 = 7,5$, $t^{(2)}_2 = 5$.

Соответственно эквивалентное среднее значение длительности обслуживания для узла b_1 составит

$$t^*_1 = p^{(1)} * t^{(1)}_1 + p^{(2)} * t^{(2)}_1 = 0,4 * 5 + 0,6 * 3,3 = 4.$$

Для узла b_2 составит

$$t^*_2 = p^{(1)} * t^{(1)}_2 + p^{(2)} * t^{(2)}_2 = 0,4 * 7,5 + 0,6 * 5 = 6.$$

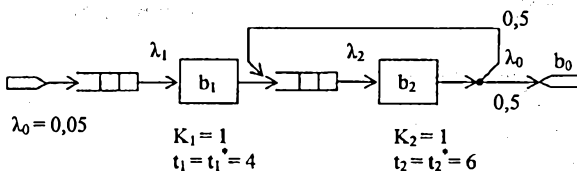


Рисунок 14 – “Одноканальная” однородная разомкнутая сеть массового обслуживания (аналитическая модель)

7.1.4. Построение экспоненциальной сети массового обслуживания

Для этого следует заменить реальные (заданные) законы распределений на экспоненциальные распределения, сохранив прежние распределения на уровне их заданных средних значений, математических ожиданий m_i , m_i . Указанное касается законов распределений времен поступления заявок, трудоемкостей – длительностей обслуживания заявок в устройствах.

Экспоненциальное (показательное) распределение задается одним параметром – λ ($\lambda > 0$) или $m_i = 1 / \lambda$. Здесь m_i может рассматриваться как среднее время между соседними событиями в потоке событий, тогда значение λ интерпретируется как интенсивность потока событий.

Соответственно при описании входных потоков, задании законов распределения времени между соседними заявками в потоке m_i означает среднее время между соседними заявками в потоке заявок на обслуживание, а λ – скорость (интенсивность) их поступления.

А при описании законов обслуживания, задании законов распределения трудоемкостей – длительностей обслуживания заявок в устройствах m_i означает среднее время обслуживания заявки в канале устройства, а λ (в этом случае для устройств традиционного обозначается как μ) – скорость их обслуживания.

Для заданной системы все законы (как поступления запросов, так и их обслуживания в каналах узлов) равномерные. Соответственно для рассматриваемой сети МО получим следующие значения параметров:

1. Для закона поступления заявок усредненного потока параметр экспоненциального распределения $m_i = m_i^* = 20$, соответственно скорость их поступления $\lambda = 0,05$.

2. Для закона распределения длительности обслуживания заявок в устройстве b_1 параметр экспоненциального распределения – средняя длительность обслуживания в канале узла $m_i = t_i^* = 4$.

3. Для закона распределения длительности обслуживания заявок в устройстве b_2 параметр экспоненциального распределения – средняя длительность обслуживания в канале узла $m_i = t_i^* = 24$.

Для одноканального варианта заданной системы аналогичным способом получим следующие значения параметров: $m_i = m_i^* = 20$, $\lambda = 0,05$, $m_i = t_i^* = 4$, $m_i = t_i^* = 6$.

Таким образом, в результате проведенных упрощений получена аналитическая модель системы в виде разомкнутой, однородной, линейной, экспоненциальной сети МО, а также ее вариант с одноканальными устройствами.

7.1.5. Описание параметров аналитической модели

Для заданной системы представим внешнюю среду одним узлом b_0 (вместо b_0 и b_4) и в качестве источника запросов на обслуживание и в качестве приемника обслуженных запросов, поскольку запросы приходят из внешней среды и возвращаются в нее.

Тогда сеть состоит из $n = 4$ узлов, где $N = 2$ устройств. Состав узлов сети: b_0, b_1, b_2, b_7 .

Ниже опишем матрицу вероятностей переходов P , при этом будем учитывать все узлы, кроме маршрутных.

Таблица 18 – Матрица переходов P

	b_0	b_1	b_2
b_0	0	1	0
b_1	0	0	1
b_2	0,5	0	0,5

Структура соответствующей сети МО с указанием исходных параметров (параметров потоков и параметров устройств) представлена на рисунке 13. Числовые значения параметров сети, полученные как исходные данные и уточненные в предыдущих §§ 7.1.1-7.1.4, приведены в таблицах 19, 20.

Таблица 19 – Параметры узлов сети МО

Узел	Параметр	Описание параметра	Значение
b_0	$Z_{0,1}$	– тип узла	источник
	$Z_{0,2}$	– назначение	генерация потока заявок
	$Z_{0,3}$	– закон (функция плотности) f_r распределения времени t между заявками в потоке	случайный
	$Z_{0,4}$	– тип закона	экспоненциальный
	$Z_{0,5}$	– среднее время t_{m_r}	20
		примечание: интенсивность поступления заявок $\lambda = 1 / t_{m_r} = 0,05$	
b_1	$Z_{1,1}$	– тип узла	устройство
	$Z_{1,1}$	– канальность K_1	1
	$Z_{1,3}$	– быстродействие канала B_1 [заявка / 1 времени]	1
b_2	$Z_{2,1}$	– тип узла	устройство
	$Z_{2,2}$	– канальность K_2	4
	$Z_{2,3}$	– быстродействие канала B_2	1
	$Z_{2,4}$	– дисциплина обслуживания	FIFO
b_7	$Z_{7,1}$	– тип узла	маршрутный
	$Z_{7,2}$	– назначение	вероятностный выбор маршрута
	$Z_{7,3}$	– вектор вероятностей переходов	0,5; 0,5

Параметры потока заявок приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Параметры потока заявок сети МО

Параметр	Описание параметра	Значение
$h_{0,1}$	закон (функция плотности) $f^{(1)}$, распределения времени t между заявками в потоке	случайный
$h_{0,2}$	тип закона	экспоненциальный
$h_{0,3}$	среднее время t_{m_r}	20
$h_{1,1}$	закон распределения (функция плотности) $f_{1,1}$ времени t обслуживания в канале b_1	случайный
$h_{1,2}$	тип закона	экспоненциальный
$h_{1,3}$	среднее время t_{m_r} обслуживания в канале b_1	4
$h_{2,1}$	закон распределения (функция плотности) $f_{1,2}$ времени t обслуживания в канале b_2	случайный
$h_{2,2}$	тип закона	экспоненциальный
$h_{2,3}$	среднее время t_{m_r} обслуживания в канале b_2	24

Для одноканального варианта заданной системы получаем $n = 4$ узла, $N = 2$ устройства.
Состав узлов сети: b_0, b_1, b^*_2, b_7 .

Матрица вероятностей переходов P представлена ниже.

Таблица 21 – Матрица вероятностей переходов P

	b_0	b_1	b^*_2
b_0	0	1	0
b_1	0	0	1
b^*_2	0,5	0	0,5

Структура сети массового обслуживания с указанием исходных параметров (параметров потоков и параметров устройств) представлена на рисунке 14.

Значения параметров сети были получены как исходные данные и уточнены в предыдущих §§7.1.1-7.1.4 и отличаются только параметрами, связанными с использованием эквивалентного узла b^*_2 .

Все существенные отличия в параметрах узлов сети и потоков заявок указаны в таблицах 22, 23.

Таблица 22 – Параметры узлов сети МО

Узел	Параметр	Описание	Значение
b^*_2	$z_{2,1}$	– тип узла	устройство
	$z_{2,2}$	– канальность K_2	4
	$z_{2,3}$	– быстродействие канала V_2	1
	$z_{2,4}$	– дисциплина обслуживания	FIFO

Таблица 23 – Параметры потока заявок сети МО

Параметр	Описание	Значение
$h_{2,1}$	закон распределения $f_{1,2}$ времени t обслуживания в канале узла b^*_2	случайный
$h_{2,2}$	тип закона	экспоненциальный
$h_{2,3}$	среднее время m_1 обслуживания в канале узла b^*_2	6

7.1.6. Описание характеристик аналитической модели

Требуется выявить и описать все узловые и системные характеристики эффективности функционирования системы и обслуживания заявок.

Для заданной системы состав искомых характеристик представлен ниже.

Состав узловых характеристик:

- характеристики $l_1, m_1, \rho_1, \omega_1, u_1$ узла b_1 ;
- характеристики $l_2, m_2, \rho_2, \omega_2, u_2$ узла $b_2 (b^*_2)$.

Состав системных характеристик:

- средняя длина очередей $L = l_1 + l_2$;
- среднее число заявок в сети $M = m_1 + m_2$;
- среднее время пребывания заявок в сети $U = \alpha_1 \cdot u_1 + \alpha_2 \cdot u_2$;
- среднее время ожидания заявок в сети $W = \alpha_1 \cdot \omega_1 + \alpha_2 \cdot \omega_2$

7.2. Реализация (расчет) аналитической модели

Основные расчетные формулы, применяемые при расчете сетей массового обслуживания, приведены в Приложении 7. Примеры расчета аналитических моделей приведены в [7, 12, с.108-118]. Расчет будет включать основные этапы, представленные ниже.

1. Опишем возможные состояния сети. Здесь конкретное состояние сети МО однозначно задается вектором $\vec{M} = (M_1; \dots; M_N)$, описывающим характер распределения запросов, находящихся в сети, по обслуживающим узлам – устройствам. Соответственно M_i – число запросов в узле b_i (как в каналах узла на обслуживании, так и в очереди на обслуживание), а $\{\vec{M}\}$ – множество всех возможных состояний сети. Общее их число для разомкнутой сети бесконечно.

Для заданной системы в соответствующей сети МО вектор состояний описывается как $\vec{M} = (M_1; M_2)$, где M_1 – число заявок в узле b_1 (любое), M_2 – число заявок в узле b_2 (любое). Примеры состояний: (0;0), (0;1), (1;0) и т.д.

2. Вычислим неизвестные интенсивности потоков λ_i на входах в устройства. Для этого построим и решим систему из N линейных уравнений, используя свойство линейности сети, выражаемое для каждого из устройств $i = 1, 2, \dots, N$ как

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^N \lambda_j \cdot p_{ji}.$$

Для заданной системы $N = 2$ и искомые величины: λ_1 и λ_2 . Система уравнений выглядит как

$$\lambda_1 = \lambda_0 \cdot p_{0,1} + \lambda_1 \cdot p_{1,1} + \lambda_2 \cdot p_{2,1};$$

$$\lambda_2 = \lambda_0 \cdot p_{0,2} + \lambda_1 \cdot p_{1,2} + \lambda_2 \cdot p_{2,2}.$$

А после подстановки значений p_{ij} из матрицы P система уравнений выглядит как

$$\lambda_1 = \lambda_0 \cdot 1 + \lambda_1 \cdot 0 + \lambda_2 \cdot 0;$$

$$\lambda_2 = \lambda_0 \cdot 0 + \lambda_1 \cdot 1 + \lambda_2 \cdot 0,5.$$

Соответственно получим значения $\lambda_1 = 0,05$, $\lambda_2 = 0,1$.

3. Рассчитываем коэффициенты передач – среднее число посещения заявкой каждого устройства за время, цикл полного обслуживания как $\alpha_k = \lambda_k / \lambda_0$.

Для заданной системы значения коэффициентов передач $\alpha_1 = \lambda_1 / \lambda_0 = 1$, $\alpha_2 = \lambda_2 / \lambda_0 = 2$.

4. Рассчитываем коэффициенты загрузки каналов устройств по формуле

$$\rho_k = \lambda_k \cdot t_k / K_k.$$

Если значения коэффициентов загрузки всех узлов окажутся меньше единицы, то сеть работает в стационарном (устойчивом) режиме. Это означает, что для сети характерно существование статистически устойчивых значений характеристик и можно продолжать дальнейшие расчеты.

Для заданной системы рассчитываем коэффициенты загрузки каналов устройств как

$$\rho_1 = \lambda_1 \cdot t_1 = 0,2;$$

$$\rho_2 = \lambda_2 \cdot t_2 = 0,6.$$

Так как коэффициенты загрузки меньше единицы, то сеть работает в стационарном режиме и можно продолжать расчеты.

5. Рассчитываем вероятности p_{0j} простоя узлов сети, как показано в Приложении 7.

Для заданной системы вероятность простоя одноканального узла b_1 определится как

$$p_{01} = (1 - \rho_1) \cdot \rho_1^0 = 0,8$$

Вероятность простоя многоканального узла b_2 определится как $p_{02} = 0,083$.

6. Рассчитываем вероятности состояний сети как $P(M_1, M_2, \dots, M_N) = p_{M_1} \cdot p_{M_2} \cdot \dots \cdot p_{M_N}$.

Для заданной системы рассчитываем вероятности состояний сети как

$$P(M_1, M_2) = p_{M_1} \cdot p_{M_2}$$

Например, рассчитаем вероятность простоя сети, т.е. вероятность события (0; 0) как $P(0; 0) = p_{01} \cdot p_{02} = 0,8 \cdot 0,083 = 0,0665$.

7. Рассчитываем узловые характеристики сети по формулам, приведенным в Приложении 7.

Для заданной системы получаем следующие значения характеристик. Характеристики $l_1 = 0,05$, $m_1 = 0,25$, $\omega_1 = 1$, $u_1 = 5$ одноканального узла b_1 . Характеристики $l_2 = 0,43$, $m_2 = 2,83$, $\omega_2 = 4,3$, $u_2 = 28,3$ многоканального узла b_2 . Полученные результаты сведены в таблицу 24.

8. Рассчитываем системные характеристики.

Для заданной системы получаем следующие значения характеристик:

- средняя длина очередей $L = l_1 + l_2 = 0,48$;

- среднее число заявок в сети $M = m_1 + m_2 = 3,18$;

- среднее время пребывания заявок в сети $U = \alpha_1 \cdot u_1 + \alpha_2 \cdot u_2 = 61,6$;

- среднее время ожидания заявок в сети $W = \alpha_1 \cdot \omega_1 + \alpha_2 \cdot \omega_2 = 9,6$.

Полученные результаты сведены в таблицу 24.

Таблица 24 – Значения характеристик сети МО

Узел	Характеристики	Значение	Узел	Характеристики	Значение	Узел	Характеристики	Значение
	узловые						системные	
b_1	l_1	0,05	b_2	l_2	0,43		L	0,48
	ρ_1	0,2		ρ_2	0,6		M	3,18
	m_1	0,25		m_2	2,83		U	61,6
	ω_1	1		ω_2	4,3		W	9,6
	u_1	5		u_2	28,3			
	α_1	1		α_2	2			

Для одноканального варианта заданной системы аналогичные характеристики приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Значения характеристик сети МО

Узел	Характеристики	Значение	Узел	Характеристики	Значение	Узел	Характеристики	Значение
	узловые						системные	
b_1	l_1	0,05	b_2	l_2	0,9		L	0,95
	ρ_1	0,2		ρ_2	0,6		M	1,75
	m_1	0,25		m_2	1,5		U	35
	ω_1	1		ω_2	9		W	19
	u_1	5		u_2	15			
	α_1	1		α_2	2			

Порядок их расчета тот же.

1. Возможны те же состояния сети, описываемые векторами $\vec{M}=(M_1; M_2)$.
2. Циркулируют потоки запросов с теми же интенсивностям λ_i на входах в устройства $\lambda_1 = 0,05$ и $\lambda_2 = 0,1$.

3. Соответственно совпадают коэффициенты передач $\alpha_1 = \lambda_1 / \lambda_0 = 1$ и $\alpha_2 = \lambda_2 / \lambda_0 = 2$.

4. Совпадают коэффициенты загрузки каналов устройств $\rho_1 = \lambda_1 \cdot t_1 = 0,2$ и $\rho_2 = \lambda_2 \cdot t_2 = 0,6$.

5. Рассчитываем вероятности состояний сети как

$$P(M_1, M_2) = \rho_{m_1} \cdot \rho_{m_2} = (1 - \rho_1) \cdot \rho_1^{M_1} \cdot (1 - \rho_2) \cdot \rho_2^{M_2}$$

Например, рассчитаем вероятность события (5; 5) как

$$P(5; 5) = 0,8 \cdot 0,2^5 \cdot 0,4 \cdot 0,6^5$$

Рассчитаем так же вероятность простоя сети, т.е. вероятность события (0; 0) как

$$P(0; 0) = 0,8 \cdot 0,4 = 0,32$$

6. Рассчитываем узловые характеристики по формулам:

$$l_i = \rho_i^2 / (1 - \rho_i),$$

$$m_i = \rho_i / (1 - \rho_i),$$

$$\omega_i = l_i / \lambda_i,$$

$$u_i = m_i / \lambda_i.$$

Для одноканального варианта заданной системы для узла b_1 получаем $l_1 = 0,05$; $m_1 = 0,25$; $\omega_1 = 1$; $u_1 = 5$. Соответственно для узла b_2 получаем $l_2 = 0,9$; $m_2 = 1,5$; $\omega_2 = 9$; $u_2 = 15$. Полученные результаты сведены в таблицу 25.

7. Рассчитываем системные характеристики:

$$L = l_1 + l_2 = 0,95;$$

$$M = m_1 + m_2 = 1,75;$$

$$U = \alpha_1 \cdot u_1 + \alpha_2 \cdot u_2 = 35;$$

$$W = \alpha_1 \cdot \omega_1 + \alpha_2 \cdot \omega_2 = 19.$$

7.3. Имитационное моделирование аналитической модели

Здесь означает расчет полученной ранее аналитической модели, сети МО средствами системы GPSS World. Основные сведения для написания модели и управления моделированием приведены в Приложениях 5, 8.

7.3.1. Реализация имитационной модели

Для заданной системы требуется описать на языке GPSS сеть, представленную на рис. 13. Узел b_2 сети в соответствии с исходными данными должен быть 4-канальным. Схема соответствующей GPSS-модели приведена на рисунке 15. Эта же схема может быть легко получена из ранее разработанной детальной GPSS-модели системы, представленной на рисунок 11, путем внесения в нее всех вышеперечисленных упрощений.

Значения параметров узлов и потоков заявок модели приведены в таблицах 19-20.

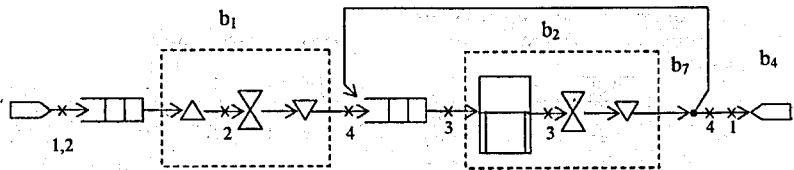


Рисунок 15 – GPSS-модель однородной разомкнутой сети массового обслуживания

Для отображения многоканального узла использован блок GPSS типа STORAGE, который обладает емкостью. Емкость берется равной числу каналов (здесь $K = 4$) и объявляется как

`b_2 STORAGE 4.`

Заявка захватывает единицу емкости (один канал) оператором

`ENTER b_2 ,`

длительность обслуживания в канале задается как

`ADVANCE (Exponential(3,0,24)) ,`

а освобождение единицы емкости (канала) производится оператором

`LEAVE b_2 .`

Примерный текст программы представлен ниже.

```

b_2 STORAGE 4
GENERATE (Exponential(1,0,20))
queue U_system
queue w_b_1
queue u_b_1
SEIZE b_1
depart w_b_1
ADVANCE (Exponential(2,0,4))
RELEASE b_1
depart u_b_1
queue u_sum_b_2
Label_1 queue w_b_2
queue u_b_2
ENTER b_2
depart w_b_2
ADVANCE (Exponential(3,0,24))
LEAVE b_2
depart u_b_2
TRANSFER .5,,Label_1
depart u_sum_b_2
depart U_system
TERMINATE 1

```

В тексте модели обслуживающий узел типа «одноканальное устройство» обозначен как b_1, а обслуживающий узел типа «многоканальное устройство» обозначен как b_2.

Для сбора статистики, расчета узловых и системных характеристик в тексте модели расставлены точки сбора данных (контрольные точки), которые обозначены как w_b_1 и т.д., с помощью пар операторов queue-depart. В том числе, это следующие контрольные точки:

- queue U_system и depart U_system для получения системных характеристик типа M, U (рисунок 15, точки 1-1);
- queue w_b_1 и depart w_b_1 для получения узловых характеристик b₁ типа ω₁, l₁ (рисунок 15, точки 2-2);
- queue w_b_2 и depart w_b_2 для получения узловых характеристик b₂ типа ω₂, l₂ (рисунок 15, точки 3-3);
- queue u_sum_b_2 и depart u_sum_b_2 для получения суммарных узловых характеристик b₂ типа α₂*u₂ (рисунок 15, точки 4-4).

Ниже представлен фрагмент отчета по результатам моделирования системы, автоматически сформированный GPSS. Сведения по составу отчетов приведены в Приложении 6.

Так, в секции FACILITY приведены характеристики работы каждого устройства. Здесь, например, это характеристики устройства (FACILITY) - B_1:

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
B_1	50003	0.200	3.997	1	0	0	0	0	0

Это такие характеристики, как:

- число обслуженных заявок ENTRIES;
- коэффициент загрузки канала UTIL.;
- средняя длительность обслуживания в канале AVE. TIME и другие характеристики.

В секции STORAGE приведены характеристики работы каждой памяти. Здесь это характеристики памяти (STORAGE) B_2, используемой для моделирования одноименного многоканального устройства:

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
B_2	4	1	0	4	99895	1	2.397	0.599	0	0

Это такие характеристики, как:

- число обслуженных заявок ENTRIES;
- коэффициент загрузки узла UTIL.;
- среднее число заявок в узле AVE.C и другие характеристики.

В секции QUEUE приведены характеристики, вычисленные в контрольных точках (QUEUE), расставленных парами операторов queue-depart. Здесь это характеристики контрольных точек (U_SYSTEM, W_B_1, U_SUM_B_2, W_B_2 и других):

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE. (-0)	RETRY
U_SYSTEM	20	3	50003	0	3.053	61.076	61.076	0
W_B_1	7	0	50003	39850	0.051	1.030	5.072	0
U_B_1	8	0	50003	0	0.251	5.027	5.027	0
U_SUM_B_2	20	3	50003	0	2.802	56.050	56.050	0
W_B_2	17	0	99895	71753	0.405	4.059	14.409	0
U_B_2	20	3	99895	0	2.802	28.056	28.056	0

По каждой паре контрольных точек здесь указаны такие характеристики, как:

- число прошедших заявок ENTRY;
- среднее количество заявок между точками AVE.CONT.;
- среднее время пребывания заявки между точками AVE.TIME и другие характеристики.

Ниже в таблице 26 представлены результаты аналитического и имитационного моделирования (с разной длительностью – в 10000, 50000, 100000 заявок) сети МО и вычислена погрешность оценки характеристик.

При этом за эталон взяты характеристики аналитической модели, приведенные в таблице 24 (см. § 7.1 Разработка аналитической модели).

Таблица 26 – Результаты аналитического и имитационного моделирования сети МО

	Характеристика	Значение характеристики				Погрешность, %		
		AM	ИМ (10000)	ИМ (50000)	ИМ (100000)	1	2	3
Узел								
1	ρ_1	0,2	0,201	0,2	0,2	0,5%	0,0%	0,0%
	I_1	0,05	0,053	0,051	0,05	6,0%	2,0%	0,0%
	m_1	0,25	0,254	0,251	0,25	1,6%	0,4%	0,0%
	ω_1	1	1,067	1,03	1,03	6,7%	3,0%	3,0%
	u_1	5	5,067	5,03	5,03	1,3%	0,6%	0,6%
2	ρ_2	0,6	0,601	0,599	0,6	0,1%	-0,1%	0,0%
	I_2	0,43	0,424	0,405	0,43	-1,4%	-0,8%	0,0%
	m_2	2,83	2,828	2,801	2,83	-1,7%	-1,2%	0,0%
	ω_2	4,3	4,27	4,059	4,31	-5,7%	-5,0%	0,2%
	u_2	28,3	28,27	28,059	28,31	-0,1%	-0,5%	0,0%
Система								
	L	0,48	0,477	0,456	0,48	-6,6%	-5,0%	0,00%
	M	3,18	3,082	3,053	3,076	-4,0%	-3,9%	-3,2%
	U	61,6	62,1	61,08	61,73	0,9%	-0,8%	0,2%
	W	9,6	9,607	9,148	9,65	5,7%	-4,7%	0,5%

Для одноканального варианта системы сеть МО представлена рисунком 14, а структура GPSS-модели представлена на рисунке 16.

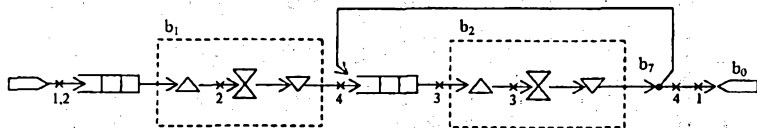


Рисунок 16 – GPSS-модель одноканальной однородной разомкнутой сети массового обслуживания

Текст соответствующей GPSS модели приведен ниже.

```

GENERATE      (Exponential(1,0,20))
queue        U_system
queue        w_b_1
SEIZE        b_1
depart       w_b_1
ADVANCE      (Exponential(2,0,4))
RELEASE      b_1
queue        u_sum_b_2
Label_1 queue w_b_2
SEIZE        b_2
depart       w_b_2
ADVANCE      (Exponential(3,0,6))
RELEASE      b_2
TRANSFER    .5,,Label_1
depart       u_sum_b_2
depart       U_system
TERMINATE    1
    
```

В тексте модели обслуживающие узлы типа «одноканальное устройство» обозначены как b_1 , b_2 . Для сбора статистики, расчета узловых и системных характеристик в тексте модели расставлены такие же точки сбора данных, как и в предыдущей модели.

Ниже в таблице 27 представлены результаты аналитического и имитационного моделирования (с разной длительностью – в 10000, 50000, 100000 заявок) системы и вычислена погрешность оценки характеристик. При этом за эталон взяты характеристики соответствующей одноканальной АМ, приведенные в таблице 25 (см. § 7.1 Разработка аналитической модели).

Таблица 27 – Результаты аналитического и имитационного моделирования сети МО

	Характеристика	Значение характеристики				Погрешность, %		
		АМ	ИМ (10000)	ИМ (50000)	ИМ (100000)	1	2	3
Узел								
1	ρ_1	0,2	0,201	0,201	0,2	0,50%	0,50%	0,00%
	l_1	0,05	0,048	0,049	0,05	-4,00%	-2,00%	0,00%
	m_1	0,25	0,249	0,25	0,25	-0,40%	0,00%	0,00%
	ω_1	1	0,971	0,978	0,993	-2,90%	-2,20%	-0,70%
	u_1	5	5,016	4,978	4,993	0,32%	-0,44%	-0,14%
2	ρ_2	0,6	0,609	0,604	0,6	1,50%	0,67%	0,00%
	l_2	0,9	0,91	0,911	0,888	1,11%	1,22%	-1,33%

Продолжение табл. 27

	m_2	1,5	1,519	1,515	1,488	1,27%	1,00%	-0,80%
	ω_2	9	9,038	9,048	8,904	0,42%	0,53%	-1,07%
	u_2	15	15,078	15,048	14,904	0,52%	0,32%	-0,64%
Система								
	L	0,95	0,958	0,96	0,938	0,84%	1,05%	-1,26%
	M	1,75	1,738	1,765	1,737	-0,69%	0,86%	-0,74%
	U	35	35,28	35,151	34,85	0,80%	0,43%	-0,43%
	W	19	19,047	19,074	18,801	0,25%	0,39%	-1,05%

Выводы: из полученных данных видно, что расхождения в значениях характеристик вполне приемлемы, очевидно имеют статистическую природу и имеют тенденцию к уменьшению с ростом длительности имитационного моделирования.

7.3.2. Оценка зависимости точности моделирования от его длительности

Здесь означает анализ зависимости точности вычисления характеристик от длительности моделирования. Это необходимо, в частности, для оценки минимальной длительности моделирования, необходимой для достижения желаемой точности (статистических погрешностей). Сводится к расчету статистических погрешностей определения узловых и системных характеристик в зависимости от длительности моделирования.

Длительность моделирования может задаваться числом заявок, обработанных в модели. Соответственно выполняется моделирование с разной длительностью. Например, в модели обрабатывается 500, 1000, 5000, 10000, 50000 заявок и т.д. Фиксируются значения 1-2 узловых и 1-2 системных характеристик. Производится оценка статистических погрешностей, рассчитываются дисперсии оценок, доверительные интервалы. Строятся графики зависимости погрешностей от числа обработанных заявок. Выбираемые шаги – длительности моделирования зависят от специфики конкретной модели и должны быть достаточны для решения вышеуказанных задач.

Для вычисления погрешностей характеристик необходим эталон для сравнения. Это может быть другая аттестованная модель. Либо погрешность следует вычислять относительно значений характеристик, полученных в той же модели при моделировании с наибольшей длительностью. Далее оценивается необходимая длительность моделирования.

Для заданной системы в качестве оцениваемой модели следует использовать GPSS-модель, построенную в предыдущем параграфе (см. рисунок 15), а в качестве модели-эталона – ранее полученную аналитическую модель (см. § 7.1 Разработка аналитической модели) и соответствующие характеристики (см. § 7.2 Реализация аналитической модели), приведенные в таблице 24.

Здесь оценка зависимости точности моделирования от его длительности иллюстрируется на примере одноканального варианта системы.

Для одноканального варианта заданной системы в качестве оцениваемой модели используем GPSS-модель “одноканальной” сети, построенную в предыдущем параграфе (см. рисунок 16), а в качестве эталона используем соответствующую аналитическую модель (см. § 7.1) и ее характеристики (см. § 7.2), приведенные в таблице 25.

Длительность моделирования варьируем с переменным шагом, задавая ЧислоЗаявок как параметр оператора

START ЧислоЗаявок.

Здесь значения параметра ЧислоЗаявок – 100, 500, 1000, 10000, 50000, 100000 заявок.

Результаты оценки погрешностей вычисления характеристик приведены в таблице 28. Для перевода значений погрешностей в проценты табличные значения следует умножить на 100. Соответствующие зависимости представлены графиками (рисунки 17-20).

Таблица 28 – Результаты имитационного моделирования “одноканальной” сети МО (относительные погрешности)

Длительность, заявок	100	500	1000	5000	10000	50000	100000
ρ_1	0,14	0,025	0,015	0,01	0,005	0,005	0
l_1	0,56	0,56	0,1	-0,04	-0,04	-0,02	0
m_1	0,224	0,132	0,032	0	-0,004	0	0
ω_1	0,6	0,54	0,13	-0,023	-0,029	-0,022	0
u_1	0,254	0,12	0,064	-0,004	0,003	-0,004	0
ρ_2	-0,058	-0,04	-0,048	0,003	0,015	0,006	0
l_2	-0,2	-0,188	-0,211	-0,017	0,011	0,012	0
m_2	-0,143	-0,1293	-0,146	-0,009	0,012	0,01	0
ω_2	-0,132	-0,158	-0,155	-0,012	0,004	0,005	0
u_2	-0,066	-0,095	-0,085	-0,007	0,005	0,003	0
L	-0,16	-0,149	-0,194	-0,018	0,008	0,010	0
M	-0,091	-0,091	-0,121	-0,008	-0,006	0,008	0
U	-0,068	-0,101	-0,092	0,008	0,008	0,004	0
W	-0,093	-0,122	-0,140	-0,012	0,002	0,003	0



Рисунок 17 – Зависимость погрешностей узловых характеристик от длительности моделирования

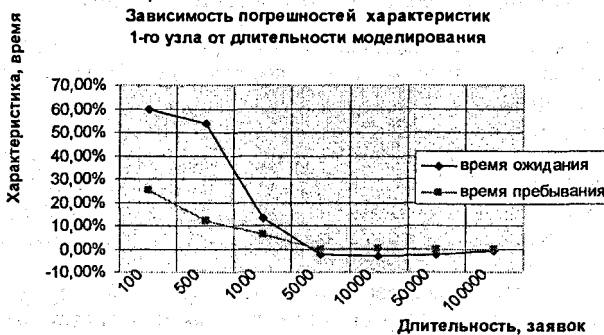


Рисунок 18 – Погрешности узловых характеристик



Рисунок 19 – Погрешности системных характеристик



Рисунок 20 – Погрешности системных характеристик

Выводы: из полученных данных видно, что погрешности оценки значений характеристик (как узловых, так и системных) имеют тенденцию к уменьшению с ростом длительности имитационного моделирования и очевидно погрешности имеют статистическую природу. Наилучшую сходимость демонстрируют такие узловые характеристики, как коэффициенты загрузки, длины очередей.

7.4. Исследование эффектов упрощений модели

Для аналитической модели, полученной ранее (§§ 7.1, 7.3, рисунки 12, 13, 15), следует исследовать влияние сделанных при ее построении упрощений на точность прогнозирования характеристик системы.

Это можно сделать восстанавливая в аналитической модели – ее имитационной реализации черты детальной модели. То есть черты ССМ, ориентированной на GPSS, которая была получена в §§ 6, 6.1 (см. рисунок 11). И далее, сравнивая характеристики, рассчитанные на этой GPSS-модели, с аналогичными характеристиками, рассчитанными на аналитической модели, используемой здесь в роли эталона (см. таблицы 24, 26), рассчитываем погрешности.

Соответственно для исследования эффектов упрощений будут строиться GPSS-модели, а в качестве основы для их построения можно использовать как детальную модель из § 6.1 или упрощенную модель из § 7.3. В первом случае необходимую модель будем получать упрощением GPSS-модели, во втором случае, напротив, ее усложнением.

В данном разделе в целях упрощения демонстрации проводимых исследований они иллюстрируются на упрощенной – “одноканальной” аналитической модели, что никак не влияет на последовательность производимых при этом действий. Соответственно в качестве эталона здесь берутся характеристики “одноканальной” аналитической модели (§ 7.1, рисунок 14), приведенные в таблице 25, а ее имитационный аналог строится, например, из модели, приведенной на рисунке 16 (см. § 7.3).

7.4.1. Эффект учета законов распределений

Здесь необходимо заменить экспоненциальные законы распределений (длительностей обслуживания заявок, времен поступления заявок) на заданные законы. Т.е. надо выполнить действия, обратные описанным в § 7.1.4 Построение экспоненциальной сети МО.

Для одноканального варианта заданной системы используем GPSS-модель из § 7.3. Результаты аналитического и имитационного моделирования и погрешность вычисления характеристик представлены ниже в таблице 29. При этом за эталон взяты характеристики аналитической модели.

Параметры самой модели практически не меняются (см. Таблицу 20), но в модель возвращаем заданные в исходном описании системы равномерные распределения. Соответственно заявки генерируются оператором

GENERATE 20,19.

То есть время между соседними заявками в потоке распределено равномерно в диапазоне 1-39 единиц времени.

Таблица 29 – Влияние законов распределения

Узел	Характеристика	Значение		%
		АМ	ИМ	
1	ρ_1	0,2	0,19	-1%
	l_1	0,05	0,01	-80%
	m_1	0,25	0,21	-16%
	ω_1	1	0,20	-81%
	u_1	5	4,20	-16%
2	ρ_2	0,6	0,60	0%
	l_2	0,9	0,36	-60%
	m_2	1,5	0,96	-36%
	ω_2	9	3,6	-60%
	u_2	15	9,6	-36%
Система				
	L	0,95	0,37	-61%
	M	1,75	1,17	-33%
	U	35	23,5	-33%
	W	19	7,40	-61%

Длительность обслуживания в первом и втором узлах моделируется операторами

ADVANCE 4,3.5

и

ADVANCE 6,5.5

что обеспечивает распределение длительностей обслуживания по равномерному закону соответственно в диапазоне 0,5-7,5 и 0,5-11,5 единиц времени.

Коэффициенты вариации (соотношение с.к.о. и математического ожидания), характеризующие степень "случайности" распределения, здесь составляют не менее 0,5. Для сравнения – у экспоненциального распределения коэффициент вариации – 1.

Текст программы может выглядеть как

```

GENERATE      20,19
queue        U_system
queue        w_b_1
queue        u_b_1
SEIZE        b_1
depart       w_b_1
ADVANCE      4,3,5
RELEASE      b_1
depart       u_b_1
queue        u_sum_b_2
Label_1 queue w_b_2
queue        u_b_2
SEIZE        b_2
depart       w_b_2
ADVANCE      6,5,5
RELEASE      b_2
depart       u_b_2
TRANSFER     .5,,Label_1
depart       u_sum_b_2
depart       U_system
TERMINATE    1
    
```

Анализ результатов моделирования позволяет сделать выводы: вид законов распределения оказывает существенное влияние на формирование очередей. Поэтому учет реальных распределений приводит к ошибкам в оценке как узловых, так и системных характеристик. При этом экспоненциальные распределения приводят к более напряженному режиму работы системы, соответственно рассчитываемые при этом характеристики, приведенные в таблице, могут рассматриваться как наихудшие оценки реальных значений характеристик.

7.4.2. Эффект учета неоднородности сети

Здесь необходимо усредненный поток заявок заменить на заданные в системе потоки, т.е. надо выполнить действия, обратные описанным в § 7.1.3. Построение однородной сети МО.

Для одноканального варианта заданной системы возвращаем в модель оба потока запросов. Для этого используем GPSS-модель из § 7.3. Структура полученной модели аналогична показанной на рисунке 16, только содержит два заданных в исходном описании системы потока запросов (см. рисунок 21).

Соответственно модель состоит из двух сегментов – по одному на каждый поток запросов. Потоки запросов генерируются операторами

GENERATE (Exponential(1,0,50))

и

GENERATE (Exponential(4,0,33.3))

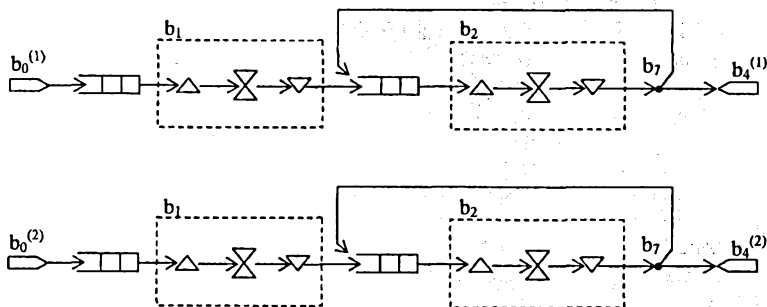


Рисунок 21 – GPSS модель для неоднородной сети МО (два потока)

Параметры генераторов и соответствующие длительности обслуживания в устройствах взяты из Таблиц 9, 10 – Параметры потоков. Законы поступления сохранены как в аналитической модели – экспоненциальными. Поскольку все иллюстрируется на примере "одноканальной" сети, то второй узел имитируется так же как в аналитической модели – одноканальным с соответствующей коррекцией длительностей обслуживания (§ 7.1.2).

Соответствующие параметры потоков заявок приведены в таблицах 30, 31.

Таблица 30 – Параметры первого потока заявок сети МО

Параметр и его описание	Значение
закон распределения времени t между заявками в потоке	случайный
тип закона	экспоненциальный
среднее время	50
закон распределения времени t обслуживания в канале b_1	случайный
тип закона	экспоненциальный
среднее время обслуживания в канале b_1	5
закон распределения времени t обслуживания в канале b_2	случайный
тип закона	экспоненциальный
среднее время обслуживания в канале b_2	7,5

Таблица 31 – Параметры второго потока заявок сети МО

Параметр и его описание	Значение
закон распределения времени t между заявками в потоке	случайный
тип закона	экспоненциальный
среднее время	33,3
закон распределения времени t обслуживания в канале b_1	случайный
тип закона	экспоненциальный
среднее время обслуживания в канале b_1	3,3
закон распределения времени t обслуживания в канале b_2	случайный
тип закона	экспоненциальный
среднее время обслуживания в канале b_2	5

Текст программы может выглядеть как

```

***** ПЕРВЫЙ СЕГМЕНТ
GENERATE      (Exponential(1,0,50))
queue        U_system
queue        w_b_1
queue        u_b_1
SEIZE        b_1
depart       w_b_1
ADVANCE      (Exponential(2,0,5))
RELEASE      b_1
depart       u_b_1
queue        u_sum_b_2
Label_1 queue w_b_2
queue        u_b_2
SEIZE        b_2
depart       w_b_2
ADVANCE      (Exponential(3,0,7.5))
RELEASE      b_2
depart       u_b_2
TRANSFER     .5,,Label_1
depart       u_sum_b_2
depart       U_system
TERMINATE    1
***** ВТОРОЙ СЕГМЕНТ
GENERATE      (Exponential(4,0,33.3))
queue        U_system
queue        w_b_1
queue        u_b_1
SEIZE        b_1
depart       w_b_1
ADVANCE      (Exponential(5,0,3.3))
RELEASE      b_1
depart       u_b_1
queue        u_sum_b_2
Lab_2 queue w_b_2
queue        u_b_2
SEIZE        b_2
depart       w_b_2
ADVANCE      (Exponential(6,0,5))
RELEASE      b_2
depart       u_b_2
TRANSFER     .5,,Lab_2
depart       u_sum_b_2
depart       U_system
TERMINATE    1

```

Ниже в таблице 32 представлены результаты аналитического и имитационного моделирования и вычислена погрешность вычисления характеристик. При этом за эталон взяты характеристики аналитической модели.

Таблица 32 – Влияние учета неоднородности сети

Узел	Характеристика	Значение характеристики		Погрешность, %
		АМ	ИМ	
1	ρ_1	0,2	0,20	-1%
	I_1	0,05	0,05	0%
	m_1	0,25	0,25	-1%
	ω_1	1	1,05	5%
	u_1	5	5,05	1%
2	ρ_2	0,6	0,60	0%
	I_2	0,9	0,93	3%
	m_2	1,5	1,53	2%
	ω_2	9	9,32	4%
	u_2	15	15,32	2%
Система	L	0,95	0,98	3 %
	M	1,75	1,78	2%
	U	35	35,66	2%
	W	19	19,69	4%

Выводы: в данном случае отсутствие учета неоднородности сети не приводит к существенным погрешностям оценки суммарных узловых и системных характеристик.

7.4.3. Эффект учета канальностей устройств

Здесь необходимо заменить эквивалентные одноканальные устройства на заданные многоканальные. То есть необходимо выполнить действия, обратные описанным в § 7.1.2 – Введение одноканальных узлов.

Для одноканального варианта заданной системы надо сравнивать характеристики "одноканальной" аналитической моделей (как эталона) с характеристиками GPSS-модели с многоканальными узлами (в узле b_2 в соответствии с исходными данными должно быть 4 канала).

Указанное можно выполнять на базе GPSS-модели из § 7.3. Структура соответствующей модели приведена на рисунке 15, там же в § 7.3.1 приведен и текст GPSS-модели.

В нашем случае можно также просто сравнить характеристики двух аналитических моделей, полученных в § 7.2. То есть сравнить характеристики аналитической и характеристики "одноканальной" аналитической моделей (см. таблицы 24, 25).

Ниже в таблице 33 представлены результаты аналитического и имитационного моделирования и вычислены соответствующие погрешности.

Таблица 33 – Влияние канальности узлов

Узел	Характеристика	Значение характеристики		Погрешность, %
		АМ	ИМ	
1	ρ_1	0,2	0,2	0%
	I_1	0,05	0,05	2%
	m_1	0,25	0,25	00%
	ω_1	1	1,02	-2%
	u_1	5	5,02	0%
2	ρ_2	0,6	0,60	0%
	I_2	0,9	0,43	-52%
	m_2	1,5	1,03	-31%
	ω_2	9	4,31	-52%
	u_2	15	28,31	89%

Продолжение табл. 33

Система				
	L	0,95	0,48	-49%
	M	1,75	3,08	76%
	U	35	61,7	76%
	W	19	9,64	-49%

Выводы: косвенный учет канальностей узлов, использованный при замене многоканальных узлов на эквивалентные одноканальные узлы, приводит к значительным погрешностям оценки соответствующих узловых и, как следствие, системных характеристик.

7.4.4. Эффект учета памяти, накопителей

Здесь необходимо вернуть в модель соответствующие узлы, обладающие емкостью. То есть надо выполнить действия, обратные описанным в § 7.1.1 Построение сети массового обслуживания.

Для одноканального варианта заданной системы возвращаем в модель узел памяти b_3 и соответственно связанные с ним узлы $b_{3,1}$ и $b_{3,2}$ в соответствии с рисунком 11. Указанные действия можно выполнять на базе GPSS-модели из § 7.3.

Соответствующая модель представлена ниже на рисунке 22.

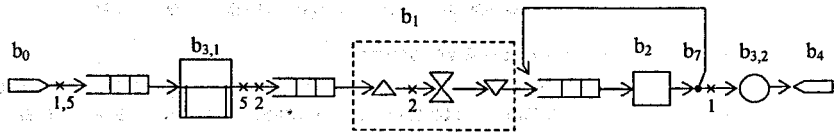


Рисунок 22 – GPSS-модель для учёта влияния ёмкости памяти

На рисунке уточнено размещение контрольных точек для сбора данных. Так, добавлена пара контрольных точек (помечена как 5-5) для оценки средней длительности ожидания памяти и средней длины очереди к памяти.

Память b_3 представлена блоком GPSS типа STORAGE, который обладает емкостью. Емкость берется равной значению 2 и объявляется как

`b_3 STORAGE 2`

Каждая заявка в соответствии с заданием захватывает ровно единицу емкости памяти, что представлено оператором

`ENTER b_3`

и освобождает единицу емкости, что представлено оператором

`LEAVE b_3`

Текст программы может выглядеть как

```

b_3 STORAGE      2
*****
GENERATE         (Exponential(1,0,20))
queue           U_system
queue           w_b_3
ENTER           b_3
depart          w_b_3
queue          w_b_1
    
```

```

queue      u_b_1
SEIZE      b_1
depart     w_b_1
ADVANCE    (Exponential(2,0,4))
RELEASE    b_1
depart     u_b_1
queue      u_sum_b_2
Label_1    queue      w_b_2
           queue      u_b_2
           SEIZE      b_2
           depart     w_b_2
           ADVANCE    (Exponential(3,0,6))
           RELEASE    b_2
           depart     u_b_2
           TRANSFER   .5,,Label_1
           LEAVE      b_3
           depart     u_sum_b_2
           depart     U_system
TERMINATE  1

```

Ниже в таблице 34 представлены результаты аналитического и имитационного моделирования (при трех разных значениях емкости памяти в 2, 4 и 6 единиц) и вычислена погрешность оценки характеристик. При этом за эталон взяты характеристики аналитической модели.

Таблица 34 – Влияние емкости памяти

Узел	Характеристика	Значение характеристики				Погрешность, %		
		AM	ИМ (V=2)	ИМ (V=4)	ИМ (V=6)	1	2	3
1	ρ_1	0,2	0,2	0,2	0,20	0%	0%	0%
	l_1	0,05	0,03	0,04	0,04	-40%	-10%	-2%
	m_1	0,25	0,23	0,24	0,25	-8%	-2%	0%
	ω_1	1	0,62	0,90	0,97	-38%	-9%	-3%
	u_1	5	4,62	4,90	4,97	-7%	-1%	-0%
2	ρ_2	0,6	0,6	0,6	0,60	0%	0%	0%
	l_2	0,9	0,31	0,68	0,83	-65%	-24%	-7%
	m_2	1,5	0,91	1,28	1,43	-39%	-14%	-4%
	ω_2	9	3,1	6,83	8,32	-65%	-24%	-7%
	u_2	15	9,1	12,83	14,32	-39%	-14%	-4%
3	ρ_3	-	0,57	0,38	0,28	-	-	-
	l_3	-	0,77	0,24	0,09	-	-	-
	ω_3	-	15,4	4,95	1,79	-	-	-
Система								
	L	0,95	1,11	0,97	0,97	17%	2%	2%
	M	1,75	1,91	1,77	1,77	9%	1%	1%
	U	35	38,2	35,5	35,4	9%	1%	1%
	W	19	22,22	19,51	19,4	16%	2%	2%

Выводы: здесь зафиксировано значительное отклонение характеристик в случае отсутствия учета влияния узла памяти b_3 . Причина состоит в том, как видно из результатов имитации, память имеет загрузку, близкую 0,6, и вместе со вторым узлом является по-

тенциально "узким" местом. На входе в память образуется очередь, что и оказывает существенное влияние на все узловые и системные характеристики.

Как видно из таблицы, увеличение емкости памяти до 6 единиц выводит ее из состояния потенциально "узкого" места.

7.4.5. Эффект учета управления

Здесь необходимо вернуть в модель все узлы, осуществляющие управление функционированием системы и обслуживанием заявок. То есть надо выполнить действия, обратные описанным в § 7.1.1 – Построение сети массового обслуживания.

Для одноканального варианта заданной системы в соответствии с рисунком 11 возвращаем в модель узел b_6 , связанный с ним альтернативный путь (маршрут) и соответствующий приемник заявок b_5 . Указанные действия можно выполнять на базе GPSS-модели из § 7.3.

Здесь следует также уточнить размещение контрольных точек для сбора данных. Например, системные данные о полной обработке запросов в системе (контрольные точки U_system) следует начинать измерять непосредственно перед захватом емкости памяти (емкости узла b_3).

Для фиксации количества заявок, которым было отказано в обслуживании, здесь используется сохраняемая величина $X\$Otkaz$. Ее начальное значение устанавливается в ноль оператором

```
initial X$Otkaz,0
```

Каждый раз, когда заявка отправляется по маршруту с меткой Lab_term1 , т.е. ей отказано в обслуживании из-за нехватки емкости памяти, величина $X\$Otkaz$ увеличивается на единицу оператором

```
Lab_term1 savevalue Otkaz+,1
```

Само управление движением запросов в модели здесь состоит в анализе для каждой пришедшей заявки наличия свободной емкости в памяти b_3 . Указанное реализуется оператором

```
GATE SNF b_3,Lab_term1,
```

который для памяти b_3 по приходу каждого запроса анализирует признак SNF (память не заполнена?). И если память незаполнена, то заявка пропускается далее по модели и начинается ее обслуживание. Здесь заявка отправляется на блок

```
queue U_system
```

и далее в память

```
ENTER b_3
```

В противном случае заявка отправляется по альтернативному маршруту, имитирующему отказ в обслуживании, на оператор с меткой Lab_term1 .

Текст программы может выглядеть как

```
b_3 STORAGE 2
initial X$Otkaz,0
*****
GENERATE (Exponential(1,0,20))
GATE SNF b_3,Lab_term1
queue U_system
queue w_b_3
```



```

ENTER      b_3
depart    w_b_3
queue     w_b_1
queue     u_b_1
SEIZE     b_1
depart    w_b_1
ADVANCE   (Exponential(2,0,4))
RELEASE   b_1
depart    u_b_1
queue     u_sum_b_2
Label_1 queue w_b_2
queue     u_b_2
SEIZE     b_2
depart    w_b_2
ADVANCE   (Exponential(3,0,6))
RELEASE   b_2
depart    u_b_2
TRANSFER .5,Label_1
LEAVE     b_3
depart    u_sum_b_2
depart    U_system
TERMINATE 1
Lab_term1 savevalue Otkaz+,1
TERMINATE 1

```

Ниже в таблице 35 представлены результаты аналитического и имитационного моделирования (при трех разных значениях емкости памяти в 2, 4 и 6 единиц) и вычислена погрешность измерения характеристик системы. При этом за эталон взяты характеристики аналитической модели.

Таблица 35 – Эффект управления

Узел	Характеристика	Значение характеристики			Погрешность, %			
		AM	ИМ (V=2)	ИМ (V=4)	ИМ (V=6)	1	2	3
1	ρ_1	0,2	0,16	0,19	0,196	-21%	-7%	-2%
	l_1	0,05	0,02	0,04	0,046	-66%	-20%	-8%
	m_1	0,25	0,17	0,23	0,242	-31%	-9%	-3%
	ω_1	1	0,45	0,84	0,95	-55%	-16%	-5%
2	u_1	5	4,45	4,84	4,95	-11%	-3%	-1,00%
	ρ_2	0,6	0,47	0,56	0,588	-23%	-7%	-2,00%
	l_2	0,9	0,15	0,48	0,705	-83%	-47%	-22%
	m_2	1,5	0,62	1,04	1,293	-59%	-31%	-14%
3	ω_2	9	1,99	5,13	7,21	-78%	-43%	-20%
	u_2	15	7,99	11,13	13,21	-47%	-26%	-12%
	ρ_3	-	0,40	0,32	0,256	-	-	-
	Система							
	Отказа	-	0,22	0,068	0,025	-	-	-
	L	0,95	0,17	0,52	0,75	82	-	-
	M	1,75	0,79	1,27	1,54	55	-	-
	U	35	20,45	27,2	31,4	40%	-	-
	W	19	4,4	11,1	15,37	77%	-	-

Выводы: здесь зафиксировано значительное отклонение характеристик в случае учета влияния узла памяти b_3 и характера его использования. Причина состоит в том, что, как видно из результатов имитации, память имеет загрузку, близкую 0,4, что при отсутствии свободной емкости памяти приводит к отказу в обработке почти 20% запросов.

7.5. Исследование характеристик системы на упрощенных моделях

Построенные и аттестованные модели используются для исследования характеристик системы. В данном разделе в целях упрощения демонстрации типовых приемов проводимых исследований они иллюстрируются преимущественно на базе "одноканальной" сети массового обслуживания. То есть можно использовать непосредственно разработанную ранее аналитическую модель (см. § 7.1-2) или ее имитационный аналог (см. § 7.3).

И только исследование эффектов модификации системы (проведенное в § 7.5.4) с точки зрения их влияния на вероятность отказа в обслуживании запросов иллюстрируется отдельно, т.к. аналитическая модель отказы в обслуживании запросов не отображает.

7.5.1. Анализ исходного состояния системы

В работе систем рассматриваемого вида (Q-схем, систем и сетей с ограниченными ресурсами и очередями) и их моделей можно выделить два характерных режима функционирования: стационарный и не стационарный. То, в каком режиме находится система, может зависеть от характера ее нагрузки – от интенсивностей поступающих на обслуживание заявок, от их числа в системе для замкнутого режима работы сети. Рост нагрузки приводит к возрастанию коэффициентов загрузки узлов, увеличению очередей.

Стационарный, устойчивый режим работы системы – это, как правило, режим работы системы до ее "насыщения" – когда система не исчерпала своих ресурсов. Соответственно при этом значения коэффициентов загрузки всех узлов системы меньше единицы (обслуживаемые узлы не догружены). А для системы характерно существование статистически устойчивых значений характеристик (коэффициентов загрузки, длин очередей и т.д.).

Нестационарный, не устойчивый режим работы системы. Это, как правило, режим работы системы при ее "насыщении" – когда система исчерпала свои ресурсы. При этом с течением времени (а для моделей с ростом длительности моделирования) значения характеристик существенно меняются (длины очередей, например, имеют тенденцию к непрерывному нарастанию). Система начинает функционировать в режиме "насыщения" при достижении коэффициентов загрузки узлов (хотя бы одного) значений близких (равных) единице.

В стационарном режиме степень сбалансированности системы может быть оценена сравнением коэффициентов загрузки ее узлов. Идеальная балансировка наблюдается, когда $r_1 = r_2 = \dots$. Система разбалансирована, когда коэффициенты загрузки обслуживающих узлов значительно отличаются. Это может означать, что система работает неэффективно и требует настройки, модификации.

Узел или узлы с наибольшими значениями коэффициентов загрузки – потенциально "узкие" места системы. При росте нагрузки (числа обслуживаемых заявок, их интенсивностей) именно они первыми войдут в режим насыщения и могут достичь загрузки, близкой к полной (загружены на 100%), что нарушит стационарность работы системы. Теперь такой узел или узлы будут работать как и вся система в режиме "насыщения". Сеть будет перегружена, т.е. перейдет из устойчивого стационарного режима работы в режим насыщения. В системе возникнет тенденция к бесконечному нарастанию длин очередей с ростом времени наблюдения (моделирования).

Для одноканального варианта системы выполняем анализ характеристик соответствующей аналитической модели (см. Таблицы 24, 26 – Значения характеристик сети МО), полученных для исходных данных (см. Таблицы 22, 23 – Параметры узлов и потока заявок сети МО). Анализ показывает следующее:

1. Система работает в установившемся стационарном режиме, т.к. коэффициенты загрузки всех обслуживающих узлов значительно меньше единицы ($\rho_1 = 0,2; \rho_2 = 0,6$).

2. Узел b_1 не перегружен.

3. Система разбалансирована, т.к. коэффициенты загрузки обслуживающих узлов значительно отличаются (идеальная балансировка, когда $\rho_1 = \rho_2 = \dots$).

4. Потенциально "узкое" место – узел 2. То есть при росте числа обслуживаемых заявок, интенсивности входных потоков именно этот узел первым достигнет загрузки, близкой к полной (с коэффициентом загрузки близким к единице). Сеть будет перегружена, т.е. перейдет из устойчивого стационарного режима работы в режим насыщения. В системе возникнет тенденция к бесконечному нарастанию длин очередей с течением времени моделирования.

7.5.2. Прогнозирование характеристик системы при росте интенсивности потока заявок

Одна из часто решаемых задач при моделировании систем – прогнозирование характера изменения ее узловых и системных характеристик при росте нагрузки – интенсивности входного потока заявок, скорости поступления запросов. Рост нагрузки приводит к возрастанию коэффициентов загрузки узлов и увеличению очередей.

В предельном случае при возрастании коэффициентов загрузки узлов до значений, близких к единице, нарушается стационарность работы системы. При этом очереди нарастают с ростом времени наблюдения (моделирования), что легко установить моделированием.

Для этого следует промоделировать систему на одном и том же наборе параметров с разными длительностями моделирования (например, промоделировать 30 000 заявок и 60 000 заявок) и сравнить полученные характеристики. Незначительные расхождения характеристик (в пределах статистической погрешности) говорят о стационарном режиме работы модели (системы). Напротив, значительные расхождения характеристик и их существенная зависимость (нарастание) от длительности моделирования говорят о нестационарном режиме работы модели (системы).

Попутно могут быть оценены предельные значения характеристик и в первую очередь системных. Они вычисляются для стационарного режима работы системы при коэффициентах загрузки, близких к единице (0,8-0,9).

Выявляются также потенциально "узкие" места системы. Это узел (или узлы) с наибольшими значениями коэффициентов загрузки. При росте нагрузки именно они первыми войдут в режим насыщения. Формируются предложения по их устранению, оценивается эффективность этих предложений.

Таким образом, прогнозирование характера изменения узловых и системных характеристик при росте нагрузки выполняется в установившемся, стационарном режиме модели за счет вариации интенсивностей входных потоков заявок.

Интенсивность входных потоков изменяется от значений, обеспечивающих появление в модели узлов (хотя бы одного) с малой загруженностью (с коэффициентами загрузки в пределах 0,1+0,25), до значений интенсивности входных потоков, обеспечивающих появление в модели узлов (хотя бы одного) с высокой загруженностью (в пределах

0,8+0,95). А затем выбирается 2-4 значения интенсивностей входных потоков в пределах между минимальным и максимальным значениями.

Фиксируются значения 1-2 узловых и 1-2 системных характеристик. Строится график зависимости их значений от значений интенсивностей потока заявок.

Для одноканального варианта системы используем GPSS модель "одноканальной" сети, приведенную на рисунке 16 в § 7.3.1.

Выполним серию моделирований, последовательно изменяя скорость (интенсивность λ) поступления заявок как 0,025; 0,033; 0,05; 0,067. Как видно из результатов, это обеспечивает для наиболее загруженного второго узла изменение коэффициента загрузки в пределах 0,3; 0,4; 0,6; 0,8.

В модели для изменения интенсивности потока заявок в операторе

GENERATE (Exponential(1,0,20))

следует соответствующим образом менять третий параметр. То есть задавать среднее время $mT = 1 / \lambda$ как 40; 30; 20; 15 единиц.

Результаты моделирования представлены ниже в таблице 36 и на графиках (рис. 23-25).

Зависимость системных характеристик от интенсивности входного потока

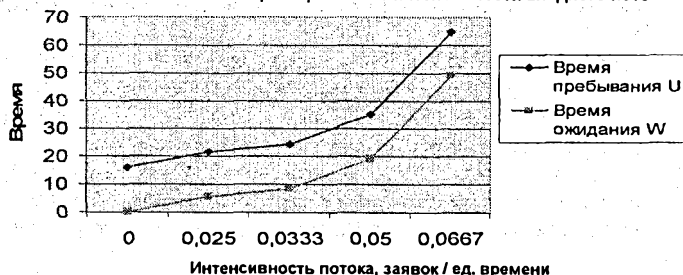


Рисунок 23 – Зависимость системных характеристик от интенсивности входного потока

Таблица 36 – Зависимость характеристик модели от интенсивности входного потока

Характеристика	Значение характеристики						
	AM	ИМ	ИМ	ИМ	ИМ	ИМ	
время t		40	30	20	15	10	
интенсивность λ		0,025	0,033	0,05	0,067	0,1	
Узел							
1	ρ_1	0,2	0,1	0,13	0,20	0,27	0,4
	l_1	0,05	0,01	0,02	0,05	0,10	0,26
	m_1	0,25	0,11	0,15	0,25	0,36	0,66
	ω_1	1	0,43	0,6	0,97	1,45	2,63
	u_1	5	4,43	4,6	5,02	5,45	6,63
2	ρ_2	0,6	0,3	0,4	0,61	0,8	1
	l_2	0,9	0,13	0,26	0,91	3,2	5000
	m_2	1,5	0,43	0,67	1,52	4	5001
	ω_2	9	2,55	3,9	9,04	23,8	27000
	u_2	15	8,55	9,9	15,08	29,8	27006
Система							
L	0,95	0,14	0,28	0,96	3,30	5000	
M	1,75	0,54	0,82	1,74	4,3	5001	
U	35	21,5	24,4	35,28	65	50000	
W	19	5,526	8,4	19,047	49,05	54002	

Зависимость характеристик 1-го узла от интенсивности входного потока

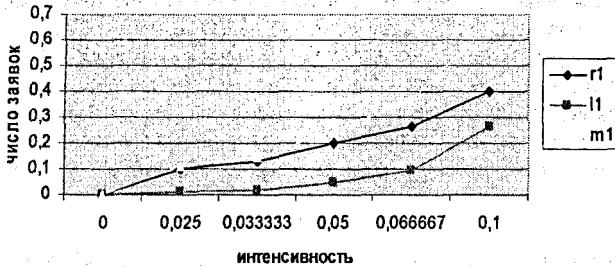


Рисунок 24 – Зависимость узловых характеристик от интенсивности входного потока

Зависимость характеристик 2-го узла от интенсивности входного потока

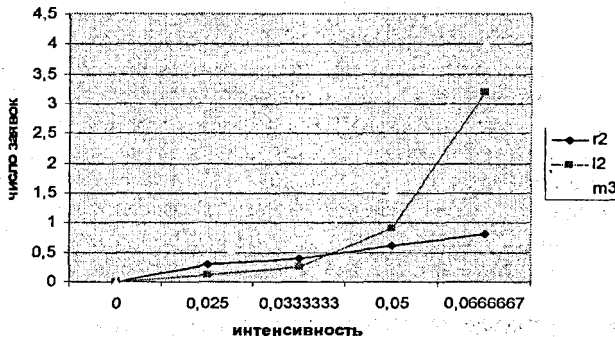


Рисунок 25 – Зависимость узловых характеристик от интенсивности входного потока

Выводы: из полученных данных видно, что при интенсивности входного потока заявок выше 0,05 наблюдается тенденция к резкому возрастанию очередей в наиболее загруженном втором узле системы и соответственно тенденция к резкому ухудшению системных характеристик.

Предположим, что существует ограничение на среднюю длительность пребывания заявок в системе, например, в 65 единиц времени. Тогда, анализируя полученные данные (в том числе рисунок 23) и исходное состояние системы, приходим к выводу, что систему можно пока не модернизировать (т.к. текущее значение средней длительности пребывания заявок в системе – 35 единиц). А запас по росту входного потока тогда составляет около 0,02 заявок/ед.времени (т.е. примерно 0,07 заявок/ед.времени – 0,05 заявок/ед.времени).

7.5.3. Прогнозирование характеристик системы в замкнутом режиме функционирования

Одна из часто решаемых задач при моделировании систем – оценка их предельных характеристик. Это относится в первую очередь к пропускной способности системы λ_0 , средним временам U , W , суммарной длины очередей L .

Пропускная способность системы, производительность системы, скорость работы системы (все – синонимы) измеряется числом заявок, обрабатываемых системой за единицу времени.

Оценка изменения характеристик выполняется аналогично тому, как это делалось в предыдущем параграфе, но со следующими изменениями:

- 1) модель предварительно переводится в замкнутый режим работы;
- 2) вместо изменения интенсивностей потоков заявок производится изменение числа обрабатываемых заявок $M_0 = 0, 1, \dots$ при неизменных значениях остальных параметров. При этом фиксируется характер изменения характеристик в зависимости от числа заявок в системе M_0 . Для сетей рассматриваемого типа справедливо соотношение (по закону Литтла)

$$\lambda_0 * U = M_0.$$

Оно позволяет для любого заданного M_0 и полученного при моделировании (при заданном M_0) значения $U(M_0)$ легко определить значение пропускной способности системы как

$$\lambda_0(M) = M_0 / U.$$

Рост нагрузки, числа обрабатываемых заявок приводит к возрастанию коэффициентов загрузки узлов и увеличению очередей. В предельном случае при достижении коэффициентов загрузки узлов (хотя бы одного) значений, близких единице, вся система начинает функционировать в режиме "насыщения".

Соответствующее значение $M_0 = M^*$ называется критическим или точкой насыщения системы. Оно как бы делит область работы системы на ту, где система не исчерпала своих ресурсов и работает до насыщения ($M_0 < M^*$), и ту, где система исчерпала свои ресурсы и работает в режиме насыщения ($M_0 > M^*$) с практически постоянной максимальной скоростью λ_0 . Соответственно максимально-достижимое (потенциальное) значение пропускной способности системы $\lambda_0 = \lambda_{0,max}$ фиксируется при M^* или, точнее, при $M_0 \geq M^*$.

Аналогичные рассуждения справедливы и для наилучшего и худшего времени U пребывания заявок в системе и других системных характеристик.

При проведении эксперимента (при моделировании) число заявок изменяется, например, от единицы до значений, обеспечивающих появление в модели узлов (хотя бы одного) с коэффициентом загрузки, близким к единице. Затем выбирается 2-4 значения числа заявок в системе M_0 в пределах между минимальным и максимальным значениями.

Производится моделирование, фиксируются значения 1-2 узловых и 1-2 системных характеристик. Строятся графики зависимости их значений от числа заявок в системе.

Для одноканального варианта системы соответствующая сеть MO и ее GPSS-ориентированная CCM представлены на рисунке 26.

За основу GPSS модели здесь использована модель из § 7.3.1, приведенная на рисунке 16. В нее внесены следующие изменения в соответствии с правилами преобразования сети из разомкнутой в замкнутую (см. рисунок 10, а, б):

1. Одиночный генератор заявок заменен на групповой. Для этого в GPSS модели использован оператор

```
GENERATE ,,,,M ,
```

где в качестве значения M подставляется конкретное числовое значение – требуемое число заявок, постоянно циркулирующих в системе.

2. Введена обратная связь с выхода системы на ее вход. Для этого в GPSS модели использован оператор

```
TRANSFER ,Label_0 .
```

3. Для управления длительностью моделирования замкнутой сети в модель добавлены "внутренние часы" – дополнительный сегмент [12, с. 77], обеспечивающий выполнение около 70000 заявок. Для этого в GPSS модели использованы операторы

```
GENERATE 1000000
TERMINATE 1 .
```

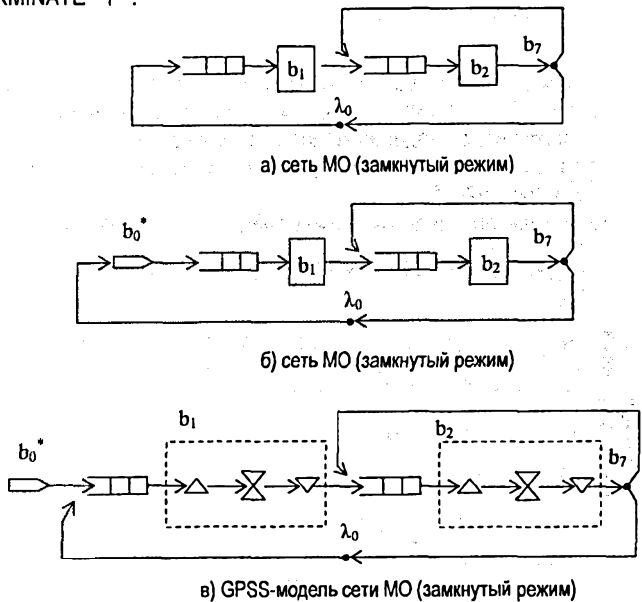


Рисунок 26 – Моделирование сети МО в замкнутом режиме

Текст модели приведен ниже.

```
GENERATE ,,3
Label_0 queue U_system
queue w_b_1
queue u_b_1
SEIZE b_1
depart w_b_1
ADVANCE (Exponential(2,0,4))
RELEASE b_1
depart u_b_1
queue u_sum_b_2
Label_1 queue w_b_2
queue u_b_2
SEIZE b_2
depart w_b_2
ADVANCE (Exponential(3,0,6))
RELEASE b_2
depart u_b_2
```

```
TRANSFER ,5,,Label_1
depart u_sum_b_2
depart U_system
TRANSFER ,Label_0
*****
GENERATE 1000000
TERMINATE 1
```

Теперь выполним серию моделирований, последовательно изменяя значения M (параметр оператора GENERATE ..., M) как 1; 2; 3; 7; 10. Указанное, как видно из результатов моделирования, обеспечивает моделирование системы как до так и после насыщения. При этом для наиболее загруженного второго узла изменение коэффициента загрузки составляет 0,75; 0,92; 0,976; 1.

Результаты моделирования представлены ниже в таблице 37 и на графиках (рис. 27-30).

Зависимость пропускной способности от числа заявок

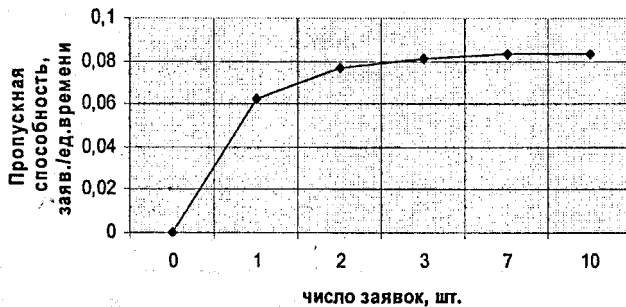


Рисунок 27 – Зависимость пропускной способности сети от M_0

Таблица 37 – Зависимость характеристик модели от числа заявок (замкнутый режим)

Характеристика	Значение характеристики							
	AM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM
число $M=M_0$		0	1	2	3	7	10	
Узел								
1	ρ_1	0,2	0	0,25	0,3	0,33	0,33	0,33
	l_1	0,05	0	0	0,08	0,12	0,17	0,17
	m_1	0,25	0	0,25	0,38	0,45	0,50	0,50
	ω_1	1	0	0	1,0	1,52	2	2
	u_1	5	4	4	5,0	5,52	6	6
2	ρ_2	0,6	0	0,75	0,92	0,98	1	1
	l_2	0,9	0	0	0,69	1,58	5,5	8,5
	m_2	1,5	0	0,75	1,61	2,56	6,5	9,5
	ω_2	9	0	0	4,5	9,7	33	51
	u_2	15	6	6	10,5	15,7	39	57
Система								
	L	0,95	0	0	0,77	1,70	5,67	8,67
	интенсивность λ_0		0	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08
	U	35	16	16	26,1	37	84	120,43
	W	19	0	0	10,0	20,92	68	104

Зависимость системных характеристик от числа заявок

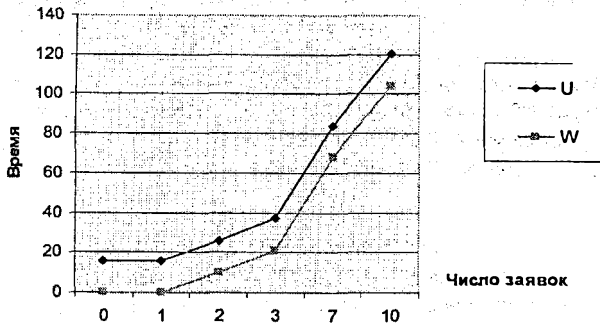


Рисунок 28 – Зависимость системных характеристик от M_0

Зависимость характеристик 1-го узла от числа заявок

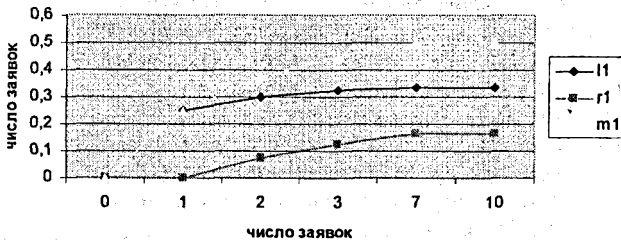


Рисунок 29 – Зависимость узловых характеристик от M_0

Зависимость характеристик 2-го узла от числа заявок

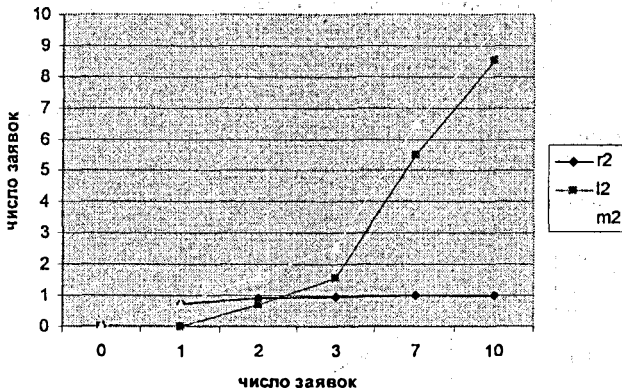


Рисунок 30 – Зависимость узловых характеристик от M_0

Выводы: из полученных данных и графиков видно, что насыщение сети начинается при значениях $M_0 = M^*$ в пределах от 3 до 7 заявок. Будем считать, что в точке насыщения $M^* = 5$ заявок.

При этом причиной насыщения является наиболее загруженный второй обслуживающий узел. Соответственно система работает в режиме до насыщения при значениях $M_0 < 5$ и работает в режиме насыщения при $M_0 > 5$.

Наблюдаемая при этом максимальная производительность (пропускная способность) системы $\lambda_0 = \lambda_{0, \max}$ составляет около 0,083 заявки в единицу времени. При этом дальнейший рост числа заявок в системе не приводит к улучшению ее производительности, а значение среднего времени пребывания в системе U начинает расти практически линейно с ростом значений M .

7.5.4. Исследование эффектов модификации системы

Конкретный план модификаций системы зависит от особенностей конкретной моделируемой системы, ее исходного состояния, наличия "узких" мест, целей и критериев ее функционирования. План модификаций определяется совместно с руководителем работы.

Для одноканального варианта системы выполняется исследование влияния модификаций системы на вероятность отказа в обслуживании заявок. Определяются возможные мероприятия по модификации системы с целью обеспечить вероятность отказа в обслуживании заявок в заданных пределах, например, не более – 0,05.

Здесь для анализа используем наиболее подходящую модель из ранее построенных. Это GPSS-модель из § 7.4.5 "Эффект учета управления".

Как видно из таблицы 35, вероятность отказа в обслуживании в исходном состоянии составляет – 0,223, т.е. почти в 4,5 раза превышает желаемую.

Анализируя данные таблицы 35, делаем предположения, что здесь на вероятность отказа в обслуживании преимущественно влияют: а) коэффициент загрузки второго узла; б) коэффициент загрузки третьего узла (памяти). Соответственно рассмотрим влияние двух наиболее правдоподобных факторов: 1) емкости памяти (третьего узла); 2) скорости работы каналов второго устройства.

Влияние емкости памяти. Будем последовательно изменять емкость памяти, задавая значения в 2, 3, 4, 5, 6 единиц. Для этого в модели будем менять соответствующий параметр оператора STORAGE

b_3 STORAGE ЕмкостьПамяти

Результаты моделирования представлены ниже в таблице 38 и на соответствующих графиках (рисунки 31-33).



Рисунок 31 – Зависимость вероятности отказа в обслуживании от V

Таблица 38 – Зависимость характеристик модели от емкости памяти

Узел	Характеристика	Значение характеристики				
		ИМ (V=2)	ИМ (V=3)	ИМ (V=4)	ИМ (V=5)	ИМ (V=6)
1	ρ_1	0,16	0,18	0,19	0,19	0,20
	l_1	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05
	m_1	0,17	0,21	0,23	0,23	0,24
	ω_1	0,45	0,69	0,84	0,9	0,95
	u_1	4,45	4,69	4,84	4,9	4,95
2	ρ_2	0,47	0,53	0,56	0,58	0,59
	l_2	0,15	0,32	0,48	0,6	0,71
	m_2	0,62	0,85	1,04	1,18	1,29
	ω_2	2,00	3,7	5,13	6,26	7,21
	u_2	8,00	9,7	11,13	12,26	13,21
3	ρ_3	0,40	0,35	0,32	0,28	0,26
Система	p отказа	0,22	0,12	0,07	0,04	0,02
	L	0,17	0,35	0,52	0,64	0,75
	M	0,8	1,06	1,27	1,4	1,54
	U	20,45	24,1	27,2	29,5	31,4
	W	4,43	8,09	11,1	13,42	15,37

Зависимость характеристик от V памяти

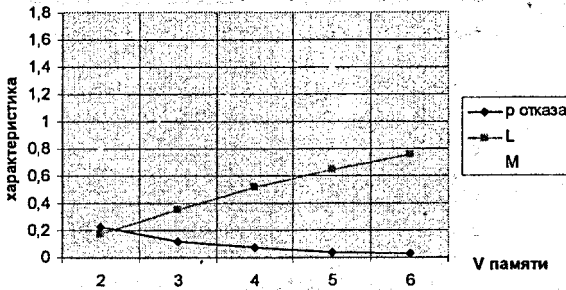


Рисунок 32 – Зависимость системных характеристик от V

Зависимость характеристик от V памяти

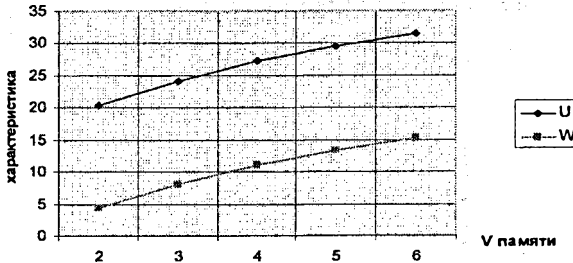


Рисунок 33 – Зависимость системных характеристик от V

Выводы: из полученных данных видно, что необходимая вероятность достигается при значении $V = 5$, т.е. при увеличении емкости памяти примерно в 2,5 раза. При этом значение U возрастает почти на 50%.

Влияние скорости работы каналов второго устройства. Будем последовательно изменять скорость работы канала устройства μ_2 , задавая значения 0,17; 0,33; 1 [заявок в единицу времени]. Для этого меняем длительность обслуживания в канале t (как 6; 3; 1 единиц времени) в соответствующем операторе ADVANCE

ADVANCE (Exponential(3, 0, ДлительностьОбслуживания))

Результаты моделирования представлены ниже в таблице 39 и на соответствующих графиках (рисунки 34-36).

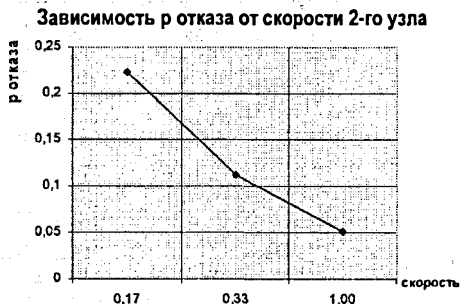


Рисунок 34 – Зависимость вероятности отказа в обслуживании от скорости узла

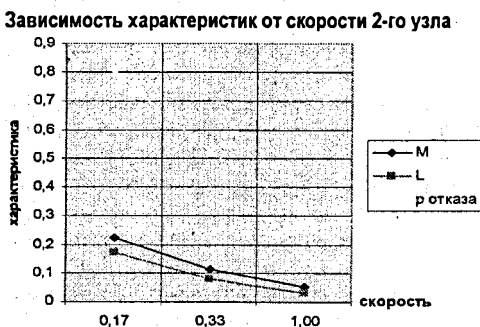


Рисунок 35 – Зависимость системных характеристик от скорости узла

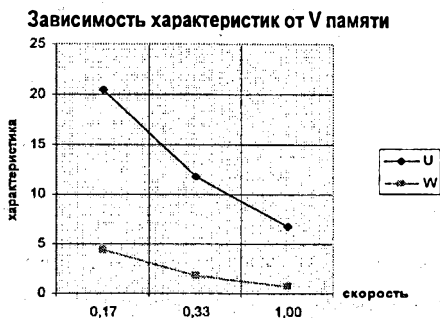


Рисунок 36 – Зависимость системных характеристик от скорости узла

Таблица 39 – Зависимость хар-стик модели от скорости работы каналов 2 устройства

	Характеристика	значения		
		$t_2 = 6$ $\mu_2 = 0,17$	$t_2 = 3$ $\mu_2 = 0,33$	$t_2 = 1$ $\mu_2 = 1$
Узел				
1	ρ_1	0,16	0,18	0,19
	I_1	0,02	0,02	0,03
	m_1	0,17	0,20	0,22
	ω_1	0,45	0,54	0,62
	u_1	4,45	4,54	4,62
2	ρ_2	0,47	0,27	0,10
	I_2	0,15	0,053	0
	m_2	0,62	0,32	0,10
	ω_2	2,00	0,6	0,08
	u_2	7,99	3,6	1,08
3	ρ_3	0,40	0,26	0,16
Система				
	p отказа	0,22	0,11	0,05
	L	0,17	0,08	0,03
	M	0,8	0,52	0,32
	U	20,45	11,76	6,78
	W	4,43	1,74	0,77

Выводы: необходимое значение вероятности обеспечивается при $\mu_2 = 1$, т.е. при увеличении скорости работы каналов второго узла почти в 6 раз. При этом значение U снижается почти на 70%.

Выбор конкретного решения по модификации системы может быть произведен с учетом стоимостей принимаемых решений.

8. РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

8.1. Реализация имитационной модели

Здесь означает описание ранее разработанной детальной GPSS-ориентированной стохастической сетевой модели (§ 6.1 и рисунок 11) на языке GPSS. Для этих целей можно также использовать GPSS-модели, полученные в §§ 7.4.1-7.4.5.

Для заданной системы строим модель в соответствии с рисунком 11. Учитываем наличие двух потоков заявок, реальные законы распределений и т.д. При этом используем знания и фрагменты модели, полученные при исследовании эффектов упрощений в §§ 7.4.1-7.4.5.

Текст программы может выглядеть как

```

b_3 STORAGE 2
b_2 STORAGE 4
INITIAL X$Otkaz,0
*****
GENERATE 50,25
GATE SNF b_3,Lab_tem1
queue U_system
queue p1_U_system
ENTER b_3
    
```

```

queue w_b_1
queue p1_w_b_1
queue u_b_1
queue p1_u_b_1
SEIZE b_1
depart w_b_1
depart p1_w_b_1
ADVANCE 5,2.5
RELEASE b_1
depart u_b_1
depart p1_u_b_1
queue u_sum_b_2
queue p1_u_sum_b_2
Lab_1 queue w_b_2
queue p1_w_b_2
queue u_b_2
queue p1_u_b_2
ENTER b_2
depart w_b_2
depart p1_w_b_2
ADVANCE 30,15
LEAVE b_2
depart u_b_2
depart p1_u_b_2
TRANSFER .5,Lab_1
LEAVE b_3
depart u_sum_b_2
depart p1_u_sum_b_2
depart U_system
depart p1_U_system
TERMINATE 1
Lab_term1 savevalue Otkaz+,1
TERMINATE 1
*****
GENERATE 33.3,17
GATE SNF b_3,Lab_term2
queue U_system
queue p2_U_system
ENTER b_3
queue w_b_1
queue p2_w_b_1
queue u_b_1
queue p2_u_b_1
SEIZE b_1
depart w_b_1
depart p2_w_b_1
ADVANCE 3.3,1.6
RELEASE b_1

```

```

depart      u_b_1
depart      p2_u_b_1
queue       u_sum_b_2
queue       p2_u_sum_b_2
Lab_2 queue   w_b_2
queue       p2_w_b_2
queue       u_b_2
queue       p2_u_b_2
ENTER       b_2
depart      w_b_2
depart      p2_w_b_2
ADVANCE     20,10
LEAVE       b_2
depart      u_b_2
depart      p2_u_b_2
TRANSFER    .5,,Lab_2
LEAVE       b_3
depart      u_sum_b_2
depart      p2_u_sum_b_2
depart      U_system
depart      p2_U_system
TERMINATE   1
Lab_term2 savevalue Otkaz+,1
TERMINATE   1

```

Само управление движением запросов в модели здесь состоит в анализе для каждой пришедшей заявки наличия свободной емкости в памяти b_3 . Указанное реализуется операторами

```

GATE SNF    b_3,Lab_term1 ,
GATE SNF    b_3,Lab_term2 ,

```

которые для памяти b_3 по приходу каждого запроса анализируют признак SNF (память не заполнена?). И если память не заполнена, то заявка пропускается далее по модели и начинается ее обслуживание. В противном случае заявка отправляется по альтернативному маршруту, имитирующему отказ в обслуживании.

Ниже в таблице представлены результаты аналитического и имитационного моделирования (для каждого из потоков в отдельности – столбцы "п_1", "п_2" и безотносительно к потокам заявок – столбец "п") и оценена погрешность характеристик аналитической модели. При этом за эталон взяты характеристики детальной имитационной модели. Сравнение характеристик по узлу памяти не производится.

Таблица 40 – Характеристики, полученные с помощью ИМ

Узел	Характеристика	ИМ			Погрешность АМ, %	
		АМ	п_1	п_2		п
1	ρ_1	0,2	0,05	0,07	0,116	72
	l_1	0,05	0,00	0,00	0,00	-
	m_1	0,25	0,06	0,06	0,12	108
	ω_1	1	0,09	0,13	0,11	-
	u_1	5	5,1	3,43	4,08	-21

Продолжение табл. 40

2	ρ_2	0,6	0,14	0,21	0,35	71
	l_2	0,43	0	0	0	-
	m_2	2,83	0,69	0,72	1,4	102
	ω_2	4,3	0	0	0	-
	u_2	28,3	30	20	23,9	37
3	ρ_3	-	0,30	0,46	0,76	-
	l_3	-	0	0	0	-
	m_3	-	0,74	0,78	1,52	-
	ω_3	-	0	0	0	-
	u_3	-	64,9	43,6	51,9	-
Система						
	L	0,48	0,00	0,00	0,00	-
	R	0,8	0,19	0,28	0,47	-
	M	3,18	0,74	0,78	1,52	109
	U	61,6	64,9	43,6	51,9	18,7
	W	9,6	0,09	0,13	0,11	-
	отказа	-	0,16	0,24	0,42	-

Выводы: здесь зафиксировано значительное отклонение характеристик, вычисленных на имитационной модели и полученных аналитически на модели, построенной путем упрощения системы и, в частности, путем игнорирования влияния узла памяти b_3 и характера ее использования.

Причина состоит в следующем: как видно из результатов имитации, "узким" местом системы с нагрузкой, близкой 0,8, является память, что и оказывает существенное влияние на все узловые и системные характеристики системы.

Дальнейший анализ системы будет произведен в последующих параграфах.

8.2. Исследование свойств модели

Здесь выполняется анализ основных свойств, характеристик разработанной модели. В том числе: анализируется стационарность функционирования модели (системы) на исходных данных; оценивается переходной период работы модели, его длительность; производится оценка зависимости точности моделирования характеристик системы от длительности моделирования, выбор длительности моделирования; анализируется адекватность модели, ее корректность, точность воспроизведения характеристик системы на модели; оценивается чувствительность модели к изменениям ее параметров; оценивается трудоемкость модели, степень ее универсальности и другие характеристики.

8.2.1. Анализ стационарности функционирования

Ранее отмечалось, что если значения коэффициентов нагрузок всех узлов меньше единицы, то сеть работает в стационарном (устойчивом) режиме, т.е. для нее характерно существование статистически устойчивых значений характеристик.

Это же означает, что с ростом длительности моделирования расхождения в оценке значений характеристик уменьшаются (за счет уменьшения статистической погрешности). Сами значения характеристик (коэффициенты загрузки, длины очередей и т.д.) проявляют тенденцию к устойчивости.

Если же с ростом длительности моделирования значения характеристик меняются существенно, длины очередей, например, имеют тенденцию к непрерывному нарастанию, то режим работы – не стационарный.

Для проверки следует провести моделирование с разной длительностью. По результатам моделирования:

- 1) оценить значения коэффициентов загрузок;
- 2) оценить изменчивость характеристик.

Значения параметров модели должны обеспечивать ее работу в стационарном режиме, то есть без нарастающих очередей. Значения коэффициентов загрузки обслуживающих узлов, устройств, памятей могут быть разными. Рекомендуемые значения коэффициентов загрузки могут лежать в пределах 0,3+0,75. Длительность моделирования должна быть достаточной для обработки не менее 10000 заявок.

Для заданной системы получены следующие данные, приведенные в таблице 41.

Таблица 41 – Зависимость характеристик ИМ от длительности моделирования

Узел	Характеристика	50000 заявок	100000 заявок	Отклонения характеристик, %
1	ρ_1	0,12	0,12	0%
	h	0,00	0,00	0%
	m_1	0,12	0,119	-0,8%
	ω_1	0,112	0,114	1,8%
	u_1	4,08	4,08	0%
2	ρ_2	0,35	0,35	0%
	m_2	1,4	1,4	0%
	u_2	23,9	23,94	0,2%
3	ρ_3	0,759	0,76	0,1%
Система	L	0,00	0,00	0%
	R	0,46	0,46	0%
	M	1,52	1,51	-0,1%
	U	51,7	52,0	0,4%
	W	0,112	0,114	1,8%
	ρ	0,414	0,415	0,2%

Выводы: полученные данные свидетельствуют об устойчивом режиме работы системы. Отклонения значений характеристик носят незначительный характер и имеют статистическую природу.

8.2.2. Оценка зависимости точности моделирования от его длительности

Выполняется на детальной модели аналогично § 7.3.2. Здесь ввиду отсутствия эталона для сравнения погрешности характеристик следует вычислять относительно значений характеристик, полученных в той же модели при моделировании с наибольшей длительностью.

9. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ

Выполняется исследование свойств (характеристик) системы (объекта) на имитационной модели [1, с.207-225, 2 с. 176-186]. Конкретный план исследований системы зависит от ее особенностей, целей и критериев функционирования и определяется совместно с руководителем работы.

Соответственно ниже иллюстрируются только типовые задачи анализа систем, решаемые с помощью моделирования.

9.1. Анализ исходного состояния системы

Здесь как и в § 7.5.1; выполняется анализ стационарности режима работы системы, ее сбалансированности, наличие "узких" мест. Выполняется оценка специфических харак-

теристик системы (например, вероятностей отказа в обслуживании, процента потерянных заявок, вероятностей простоев системы из-за занятости или ненадежности узлов и т.п.). Строятся диаграммы Кивиата и т.п.

Для заданной системы анализируются характеристики (см. Таблица 40 – Значения характеристик ИМ), полученные для исходных данных. Анализ показывает следующее:

1. Коэффициенты загрузки всех обслуживающих узлов системы меньше единицы и составляют соответственно $\rho_1 = 0,116$; $\rho_2 = 0,35$; $\rho_3 = 0,759$.

2. Однако говорить о стационарном режиме функционирования системы некорректно, несмотря на то, что коэффициенты загрузки всех обслуживающих узлов меньше единицы. Это обусловлено тем, что с ростом интенсивностей потоков заявок в системе можно ожидать и роста вероятности отказа в обслуживании (см. Таблица 35. Эффект управления).

3. Система разбалансирована, т.к. коэффициенты загрузки обслуживающих узлов значительно отличаются. При этом узел b_1 не догружен, а загрузка узла b_3 , который представляет собой память, приближается к предельной.

4. "Узкое" место системы – узел памяти b_3 (затем потенциально – узел b_2). Система функционирует в режиме "насыщения": в силу специфики ее организации (все принятые в обработку запросы должны размещаться в памяти) именно емкость памяти становится здесь ограничивающим фактором в работе, оказывает существенное влияние на все узловые и системные характеристики.

При отсутствии в системе механизмов управления потоками запросов в условиях нехватки памяти указанный режим привел бы к перегрузке системы и возникла бы тенденция к бесконечному нарастанию с течением времени очереди заявок к памяти.

5. Здесь же благодаря управляемым отказам в обслуживании – принятой в системе дисциплине обслуживания в виде отказа в обслуживании при отсутствии свободной емкости памяти – значительная часть потока запросов просто не попадает в систему на обработку. Поэтому сама система будет работать в устойчивом режиме, но одновременно возникнет тенденция к бесконечному нарастанию числа потерянных (не обслуженных) заявок с течением времени. Этот же фактор сдерживает повышение загрузки устройств системы (узлов b_1, b_2), практически приводит к исчезновению очередей внутри самой системы.

6. Вероятность потери заявки составляет 0,4 (соответственно для заявок первого и второго потоков вероятности составляют 0,16 и 0,24), что, скорее всего, не соответствует желаемому.

7. Таким образом, вышесказанное означает, что сама система является разбалансированной, характеризуется неудовлетворительным значением вероятности потери заявки (отказа) и практически работает в режиме "насыщения".

Дальнейшее повышение интенсивности входящих потоков может только ухудшать вероятность потери заявок, не оказывая существенного влияния на другие характеристики системы.

Система требует настройки, модификации. Кардинальное улучшение ее характеристик можно получить увеличением емкости памяти, повышением быстродействий устройств.

9.2. Анализ характеристик системы при росте интенсивностей потоков заявок

Выполняется аналогично § 7.5.2. Прогнозируется характер изменения характеристик системы (узловых и системных) на модели в зависимости от роста интенсивностей всех

(или отдельных) потоков заявок. Оцениваются предельные значения системных характеристик. Они вычисляются для стационарного режима работы системы при коэффициентах загрузки узлов, близких к единице (значения 0,8-0,9).

Анализом характеристик, полученных при моделировании, выявляются "узкие" места системы. Формируются предложения по их устранению, оценивается эффективность предложений.

Прогнозирование характера изменения характеристик при росте нагрузки для неоднородной сети выполняется за счет вариации интенсивностей входных потоков заявок. Например, изменяется общая интенсивность поступления заявок с сохранением заданного соотношения интенсивностей отдельных потоков. Интенсивность входных потоков изменяется от значений, обеспечивающих малую загруженность узлов до значений, обеспечивающих появление узлов с высокой загруженностью.

Для заданной системы значение интенсивности суммарного потока запросов λ_0 варьировалось от 0,025 до 5 запросов в единицу времени. Значение интенсивности входного потока в исходном состоянии составляет 0,05 запросов в единицу времени, коэффициент вариации времени между соседними заявками во входном потоке составлял 0,3. Соответствующие значения среднего времени mT между запросами в потоке изменялись от 40 до 0,2 единиц времени, границы равномерного распределения выбирались таким образом, чтобы сохранить исходное значение коэффициента вариации. Также выдерживалось исходное соотношение между запросами обоих типов (40% первого типа и соответственно 60% второго типа). Выбранные значения параметров законов поступления запросов представлены в таблице 42.

Таблица 42 – Наборы параметров законов поступления запросов

№	λ_0	$\lambda^{(1)}_0$	$\lambda^{(2)}_0$	$mT^{(1)}_0$	$mT^{(2)}_0$
1	0,005	0,002	0,003	500±250	330±170
2	0,025	0,01	0,015	100±50	66,7±34
3	0,05	0,02	0,03	50±25	33±17
4	0,075	0,03	0,045	34±17	22±11
5	0,1	0,04	0,06	25±12	16±8
6	0,5	0,2	0,3	5±2,5	3,3±1,7
7	5	2	3	0,5±0,25	0,33±0,17
8	10	4	6	0,25±0,12	0,16±0,08

Результаты моделирования приведены ниже в таблице 43 и на графиках (рисунки 37-42).

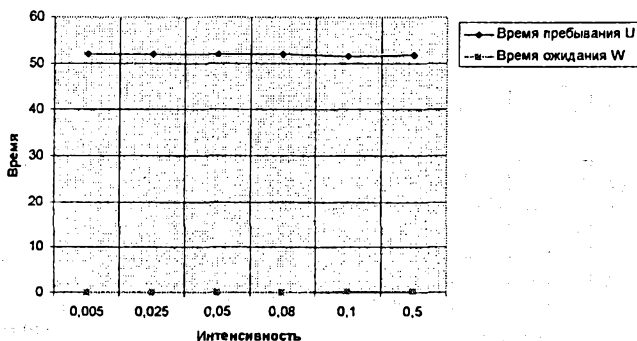


Рисунок 37 – Зависимость системных характеристик от интенсивности входных потоков

Таблица 43.—Характеристики системы в зависимости от изменения

	Характеристика	Значения характеристик							
		200	40	20	13,33	10	2	0,2	0,1
	время мт								
	интенсивность λ_0	0,005	0,025	0,05	0,08	0,1	0,5	5	10
Узел									
1	ρ_1	0,02	0,09	0,12	0,13	0,13	0,15	0,15	0,16
	l_1	0	0	0	0,004	0,004	0,005	0,007	0,006
	m_1	0,02	0,09	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,164
	ω_1	0,02	0,09	0,11	0,11	0,12	0,13	0,16	0,161
	u_1	4	4	4	4,05	4,06	4,06	4,08	4,07
2	ρ_2	0,06	0,26	0,35	0,39	0,40	0,45	0,46	0,46
	l_2	0	0	0	0	0	0	0	0
	m_2	0,24	1,03	1,4	1,54	1,61	1,8	1,84	1,83
	ω_2	0	0	0	0	0	0	0	0
	u_2	24	24	23,9	23,9	23,7	23,7	23,2	23,3
3	ρ_3	0,13	0,56	0,76	0,84	0,87	0,97	0,997	0,999
	m_3	0,26	1,11	1,52	1,67	1,75	1,95	1,995	2
Система									
	L	0	0	0	0,004	0,004	0,005	0,007	0,006
	R	0,08	0,34	0,47	0,51	0,54	0,6	0,61	0,62
	M	0,26	1,11	1,5	1,67	1,75	1,95	1,99	2
	U	51,9	52	52	52	51,6	51,8	51,2	49,7
	W	0,02	0,09	0,11	0,11	0,12	0,13	0,18	0,16
	p	0,0001	0,142	0,416	0,57	0,662	0,925	0,992	0,996

Как следует из полученных данных, системные характеристики, кроме вероятности отказа, начинают стабилизироваться уже при значениях λ_0 выше 0,025. Это хорошо видно по среднему времени обработки U , в структуре которого время ожидания W незначительно.

Обусловлено это влиянием "узкого" места – памяти, т.е. узла b_3 , чей коэффициент загрузки достигает предельных значений при интенсивности λ_0 выше 0,5:

Однако "стабилизирующее" влияние памяти на систему начинает действовать уже при значениях λ_0 выше 0,01. И состоит оно в том, что с ростом интенсивности входного потока заявок почти линейно нарастает процент запросов, которым отказано в обслуживании.

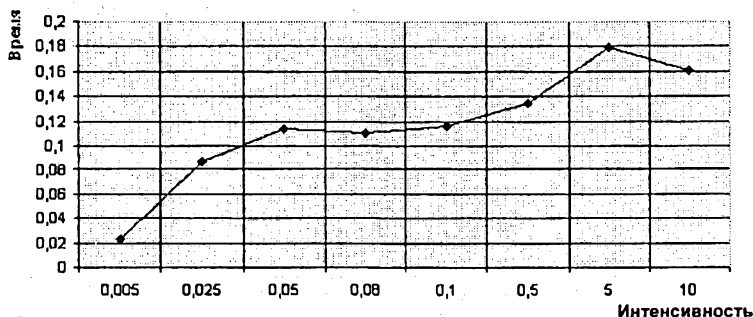


Рисунок 38 – Зависимость времени ожидания от интенсивности входных потоков

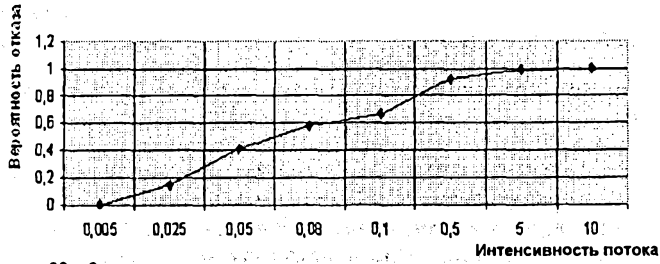


Рисунок 39 – Зависимость вероятности отказа от интенсивности входных потоков

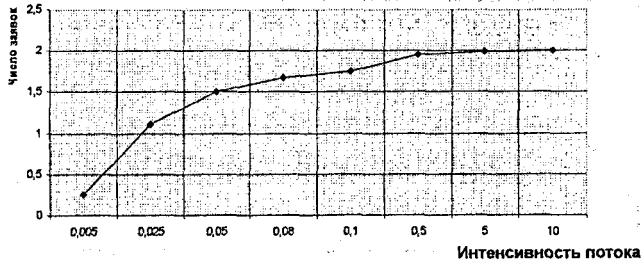


Рисунок 40 – Зависимость числа заявок M от интенсивности входных потоков

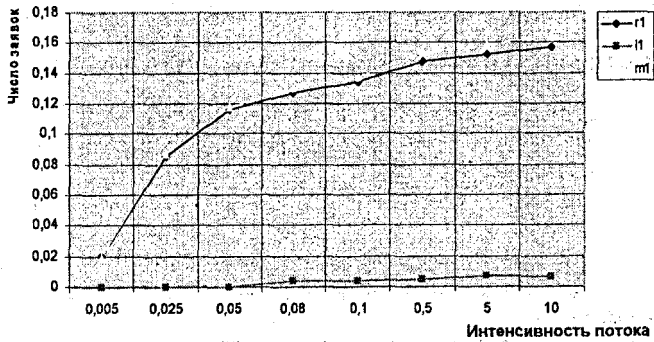


Рисунок 41 – Зависимость характеристик первого узла от интенсивности входных потоков

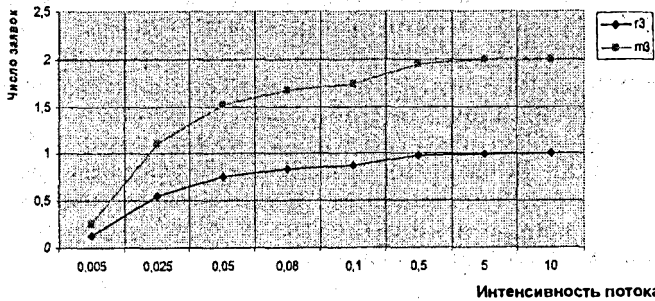


Рисунок 42 – Зависимость характеристик памяти от интенсивности входных потоков

Выводы: система изначально находится в состоянии, близком к насыщению. Рост интенсивностей потоков приводит только к возрастанию числа потерянных запросов.

9.3. Анализ характеристик системы в замкнутом режиме функционирования

Выполняется аналогично тому, как это описано в § 7.5.3. Модель предварительно переводится в замкнутый режим работы, вместо изменения интенсивностей входных потоков заявок производится изменение числа обрабатываемых заявок при неизменных значениях остальных параметров. Фиксируются значения узловых и системных характеристик, строятся графики зависимости их значений от числа заявок в системе $M_0, M^{(1)}_0, M^{(2)}_0$.

Для заданной системы соответствующая GPSS-ориентированная стохастическая сетевая модель представлена на рисунке 43.

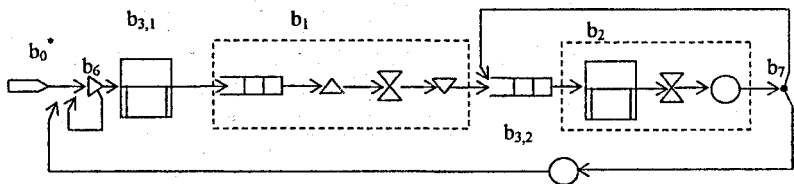


Рисунок 43 – Моделирование системы в замкнутом режиме (GPSS-ориентированная CCM)

9.4. Исследование эффектов модификации системы

Здесь исследуются такие эффекты модификации, модернизации системы, как:

- введение новых узлов, создание альтернативных маршрутов обработки запросов, резервирование узлов;
- замена узлов, изменение канальностей устройств, изменение быстродействий каналов устройств;
- изменение емкостей памяти, накопителей, режимов их использования;
- изменение дисциплин обслуживания запросов, введение приоритетных дисциплин обслуживания и т.п.;
- повышение надежности функционирования узлов.

Выполняется оптимизация системы на модели (задача синтеза). Для этого формулируются цели и критерии эффективности функционирования системы, принимаются решения, анализируется их эффективность.

Индивидуальный план исследований системы на модели составляется и реализуется по согласованию с руководителем курсовой работы.

Для заданной системы, в частности, необходимо исследование эффектов ее модернизации с целью выбора оптимальных решений, обеспечивающих нужный уровень качества обслуживания. А именно – удовлетворительное значение вероятности отказа в обслуживании. Указанное может быть выполнено на детальной имитационной модели аналогично тому, как описано в § 7.5.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература по теории моделирования:

1. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учебник для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.

Основная литература по системе моделирования GPSS:

2. Кудрявцев, Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.

3. Томашевский, В.Н. Имитационное моделирование в GPSS. – М.: Бестселлер, 2003.

Дополнительная литература по теории моделирования:

4. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. – СПб.: КОРОНА, 2004.

5. Кельтон, В. Имитационное моделирование. Классика CS / В. Кельтон, А. Лоу. – СПб.: Питер, 2004.

6. Апаносович, В.В. Цифровое моделирование стохастических систем / В.В. Апаносович, О.М. Тихоненко. – Минск: Изд. "Университетское", 1986.

7. Основы теории вычислительных систем. – Учебное пособие / Под ред. С.А. Майорова. – М.: Высшая школа, 1978.

Дополнительная литература по системе моделирования GPSS:

8. Советов, Б.Я. Моделирование систем. Практикум: учебное пособие для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2003. – 295 с.

9. Шрайбер, Т. Моделирование на GPSS. – М.: Машиностроение, 1980.

Учебно-методические материалы по дисциплине:

10. Муравьев, Г.Л. Моделирование систем: Курс лекций по дисциплине "Моделирование систем" для студентов спец. "АСОИ", "ЭВМис". – Брест: БГТУ, 2003. – 164 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

КМ – концептуальная модель системы (объекта).

ММ – математическая, абстрактная модель системы (объекта).

АМ – аналитическая модель системы (объекта).

ИМ – имитационная модель системы (объекта).

Q-схема, Q-модель – типовая математической модель (модель с очередями).

СМО М/М/К – система массового обслуживания с К каналами.

ССМ – стохастическая сетевая модель.

GPSS-модель – имитационная модель на языке GPSS.

СЧА – стандартный числовой атрибут GPSS.

GPSS-ССМ, GPSS-ориентированная ССМ – стохастическая сетевая модель, адаптированная под реализацию на языке GPSS.

ЯВУ – язык программирования высокого уровня.

ЯВУ-модель – имитационная модель объекта в терминах языка программирования высокого уровня.

Сеть МО – сеть массового обслуживания.

ЭСеть МО – экспоненциальная однородной (замкнутая или разомкнутая) линейная сеть массового обслуживания.

GPSS World – система моделирования общего назначения.

GPSS – входной язык системы моделирования GPSS World.

FIFO – дисциплина обслуживания "первый пришел – первый обслужен".

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПРИМЕРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

СИСТЕМА 2. Система задается одним из перечисленных выше способов как система 1, но отличается характером использования памяти запросами.

Запрос первого типа освобождает память сразу как только начинается его обслуживание в первом устройстве, т.е. после захвата канала первого устройства.

Запрос второго типа освобождает память только после завершения первой обработки во втором устройстве, т.е. после освобождения канала второго устройства. При каждом следующем возврате запроса во второй узел память запросу более не выделяется и соответственно не освобождается.

Ниже на рисунках представлены как схемы моделей системы, так и сами модели, ориентированные на средства системы GPSS.

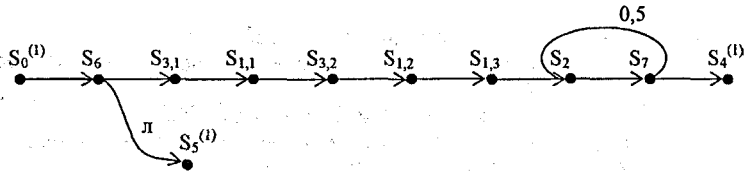


Рисунок 44 – Схема Q-модели системы 2 (первый поток)

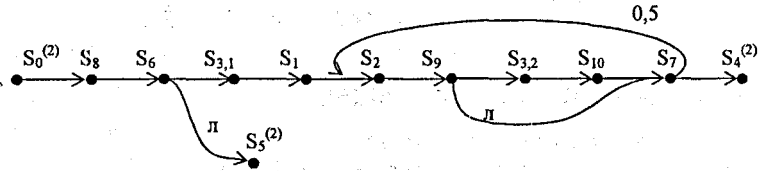


Рисунок 45 – Схема Q-модели системы 2 (второй поток)

Здесь введены такие новые узлы, как:

- захват свободного канала устройства S_1 – фаза $S_{1,1}$;
- обслуживание с постоянной скоростью V_1 в канале устройства S_1 – фаза $S_{1,2}$;
- освобождение канала устройства S_1 – фаза $S_{1,3}$;
- установка, фиксация значения флага (номера) первого посещения узла S_2 , например, в первом параметре каждого нового запроса (как $P_1 := 1$) – узел S_8 ;
- проверка флага – условия "Первое обслуживание в узле S_2 ?" (как $P_1 = 1$?) в узле S_9 для пришедшей заявки и выбор дальнейшего маршрута движения;
- сброс флага первого посещения узла S_2 , например, в первом параметре каждого нового запроса (как $P_1 := 0$) – узел S_{10} .

Последние три узла необходимы для организации освобождения памяти запросами второго типа сразу после завершения первой обработки во втором устройстве. Для этого в первом параметре каждого запроса устанавливается, а затем сбрасывается соответствующий признак – флаг. При каждом следующем возврате запроса во второй узел память запросу более не выделяется и соответственно не освобождается.

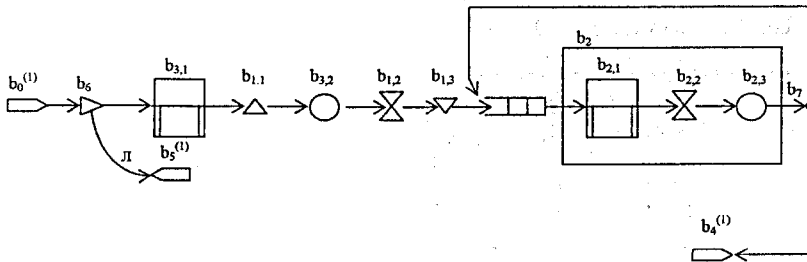


Рисунок 46 – ССМ системы 2, ориентированная на GPSS (первый поток)

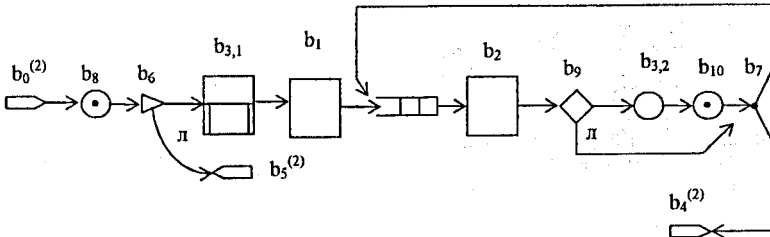


Рисунок 47 – ССМ системы 2, ориентированная на GPSS (второй поток)

Здесь узел S_8 реализован оператором ASSIGN
 ASSIGN 1,1 .

Узел S_9 реализован оператором TEST
 TEST E P1,1,Lab_22 .

Узел S_{10} – оператором ASSIGN
 ASSIGN 1,0

Сам текст модели приведен ниже без точек сбора статистических данных.

```

b_3    STORAGE  2
b_2    STORAGE  4
        INITIAL  X$Otkaz,0
*****
GENERATE 50,25
GATE SNF  b_3,Lab_term1
ENTER    b_3
SEIZE    b_1
LEAVE    b_3
ADVANCE  5,2.5
RELEASE  b_1
Lab_1   ENTER  b_2
        ADVANCE 30,15
        LEAVE   b_2
        TRANSFER .5,,Lab_1
        TERMINATE 1
  
```

```

Lab_term1 savevalue Otkaz+,1
          TERMINATE 1
.....
          GENERATE 33.3,17
          ASSIGN 1,1
          GATE SNF b_3,Lab_term2
          ENTER b_3
          SEIZE b_1
          ADVANCE 3.3,1.6
          RELEASE b_1
Lab_2     ENTER b_2
          ADVANCE 20,10
          LEAVE b_2
          TEST E P1,1,Lab_22
          LEAVE b_3
          ASSIGN 1,2
Lab_22   TRANSFER .5,,Lab_2
          TERMINATE 1
Lab_term2 savevalue Otkaz+,1
          TERMINATE 1

```

СИСТЕМА 3. Система задается одним из перечисленных выше способов как система 1, но отличается тем, что на входе в первое устройство размещен ограниченный накопитель (память заданной емкости).

Потребность в памяти накопителя запросов обоих типов носит детерминированный характер: каждый запрос занимает ровно два места памяти. При нехватке памяти запрос первого типа теряется, а второго типа отправляется на обработку во второе устройство. Освобождение памяти накопителя производится сразу после завершения обработки в первом устройстве.

Ниже на рисунках представлены как схемы моделей рассматриваемой системы, так и сами модели, ориентированные на средства системы GPSS.

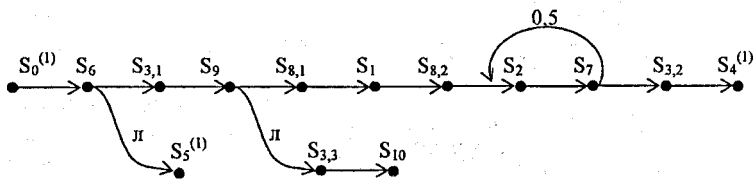


Рисунок 48 – Схема Q-модели системы 3 (первый поток)

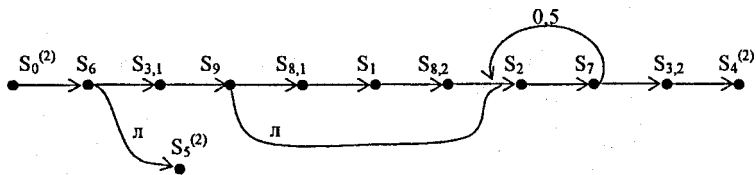


Рисунок 49 – Схема Q-модели системы 3 (второй поток)

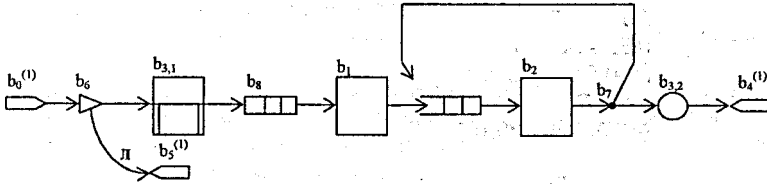


Рисунок 50 – ССМ системы 3 (первый поток)

Здесь введен новый ресурс: накопитель S_8 , реализуемый как узел типа «память». Его основные фазы использования: захват необходимой свободной части памяти $S_{8,1}$ и ее освобождение $S_{8,2}$.

Соответственно введены новые узлы:

- узел S_9 после узла S_3 , нужен для анализа наличия свободной емкости накопителя S_8 для пришедшей заявки и выбора дальнейшего маршрута ее движения (в накопитель на узел $S_{8,1}$ или в приемник потерянных заявок S_{10});
- приемник S_{10} для заявок, не вошедших в узел S_2 из-за нехватки места в накопителе S_8 ;
- узел $S_{8,1}$ захвата необходимой емкости накопителя S_8 ;
- узел $S_{8,2}$ освобождения емкости накопителя S_8 .

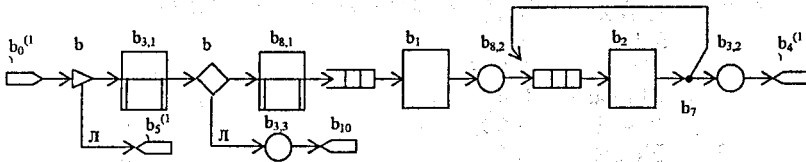


Рисунок 51 – ССМ системы 3, ориентированная на GRSS (первый поток)

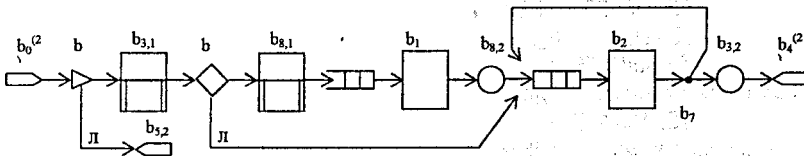


Рисунок 52 – ССМ системы 3, ориентированная на GPSS (второй поток)

Сам текст модели приведен ниже без указания точек сбора статистических данных.

```

b_3    STORAGE  2
b_2    STORAGE  4
b_8    STORAGE  4 ; buffer
        INITIAL  X$Otkaz,0
.....
GENERATE 50,25
GATE SNF  b_3,Lab_term1
ENTER    b_3
TEST GE   R$b_8,2,Lab_term11
ENTER    b_8,2

```

```

SEIZE      b_1
ADVANCE   5,2,5
RELEASE   b_1
LEAVE     b_8,2
Lab_1     ENTER    b_2
          ADVANCE  30,15
          LEAVE    b_2
          TRANSFER .5,,Lab_1
          LEAVE    b_3
          TERMINATE 1
Lab_term1 savevalue Otkaz+,1
          TERMINATE 1
Lab_term11 savevalue Otkaz+,1
          LEAVE    b_3
          TERMINATE 1

```

```

.....
GENERATE  33,3,17
GATE SNF  b_3,Lab_term2
ENTER     b_3
TEST GE   R$b_8,2,Lab_term22
ENTER     b_8,2
SEIZE     b_1
ADVANCE  3.3,1.6
RELEASE   b_1
LEAVE     b_8,2
Lab_2     ENTER    b_2
          ADVANCE  20,10
          LEAVE    b_2
          TRANSFER .5,,Lab_2
          LEAVE    b_3
          TERMINATE 1
Lab_term2 savevalue Otkaz+,1
          TERMINATE 1
Lab_term22 savevalue Otkaz+,1
          LEAVE    b_3
          TERMINATE 1

```

Анализ наличия свободной памяти накопителя реализуется операторами

```

TEST GE   R$b_8,2,Lab_term11
TEST GE   R$b_8,2,Lab_term22

```

где реализуется отношение $(R\$b_8) \text{ LE } (2) - ?$ или $(R\$b_8) \leq (2) - ?$ Здесь $R\$b_8$ – стандартный числовой атрибут памяти b_8 , хранящий в момент вызова текущее значение свободной емкости.

СИСТЕМА 4. Система задается одним из перечисленных выше способов как система 1, но отличается характером использования памяти запросами. Потребность в памяти запросов обоих типов носит вероятностный характер и распределяется соответственно:

- по равномерному закону $F^{(1)}_{v,3}$ для запросов первого потока (один запрос потребляет 1-3 места в памяти со средним значением два места);
- по произвольному дискретному закону $F^{(2)}_{v,3}$ для запросов второго потока (один запрос потребляет 2-4 места в памяти).

Особенности описания и использования параметров систем, связанные с наличием произвольных распределений, задаваемых таблично, описаны ниже. Поскольку здесь задан произвольный закон распределения потребляемой памяти, то определим его сами в виде функций распределения $F^{(2)}_{v,3}$. Пусть распределение потребляемой емкости памяти задано таблицей 44. Тогда соответствующая функция распределения $F^{(2)}_{v,3}$ выглядит, как показано на рисунке 53.

Таблица 44 – Распределение значений v

Требуемая емкость памяти v	1	2	3
Вероятность требования p	0,2	0,3	0,5

По ней можно построить обратную функцию $F^{(-1)}_{v,3}$, которая потребуется при реализации распределения средствами языка GPSS. Обратная функция выглядит, как показано на рисунке 54.

Соответственно здесь надо уточнить условие захвата требуемой емкости памяти (или отказа от обслуживания в системе) как: $v_i \leq R_3$. Здесь $i = 1, 2, 3, \dots$ – номер заявки, пришедшей на обслуживание; v_i – память, требуемая заявке i в соответствии с заданным распределением $F^{(2)}_{v,3}$, т.е. 1, 2 или 3 единицы памяти; R_3 – текущее значение свободной емкости памяти S_3 .

Таблица 45 – Функция распределения $F^{(2)}_{v,3}$

Требуемая емкость памяти v	1	2	3	∞
Значения $F_{v,3}$	0	0,2	0,5	1

Таблица 46 – Обратная функция распределения $F^{(-1)}_{v,3}$

Аргумент	< 0	0-0,2	0,2-0,5	0,5-1	> 1
Значения $F^{(-1)}_{v,3}$	0	1	2	3	0

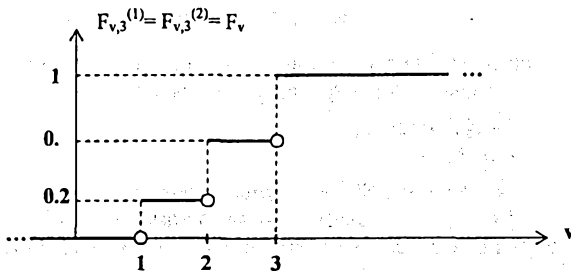


Рисунок 53 – Функция распределения памяти

Модель, ориентированная на средства системы GPSS, представлена на рисунке 55.

Соответственно введены новые узлы:

- узел S_8 для запоминания в одном из параметров нового i -го запроса (здесь используется первый параметр P_1) значения потребной памяти v_i , полученного в соответствии с заданным распределением. Указанное действие здесь реализуется как $P_1 := v_i$;

- модифицировано условие выбора дальнейшего маршрута движения запроса после узла S_6 (здесь анализируется наличие необходимой свободной памяти).

Для генерации потребной емкости памяти для запросов первого потока используется встроенная функция $DUNIFORM(1, 2, 6)$ языка PLUS системы GPSS, воспроизводящая распределение $F^{(1)}_{v,3}$. Здесь первый параметр задает номер базового генератора GPSS (любое натуральное число), второй и третий параметры задают соответственно левую и правую границы равномерного распределения. Генерация и запоминание полученного значения производится оператором

ASSIGN 1,(DUNIFORM(1, 2, 6)) .

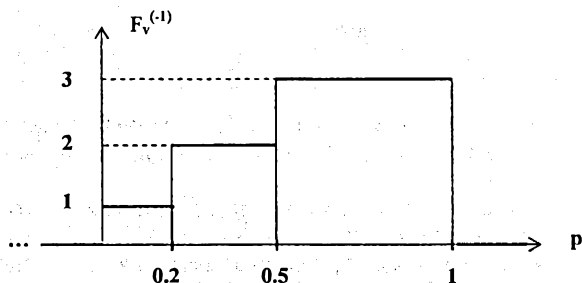


Рисунок 54 – Обратная функция распределения памяти

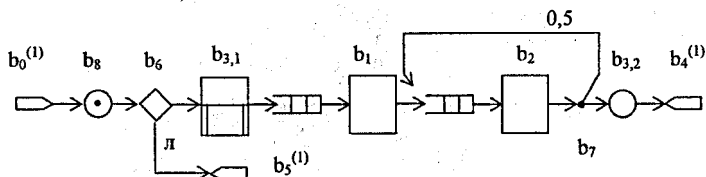


Рисунок 55 – CCM системы 4, ориентированная на GPSS

Для генерации потребной емкости памяти для запроса второго потока используются значения соответствующей обратной функции $F^{(-1)}_{v,3}$, описанной как

ZAKON FUNCTION RN3,D4
0,0/0.2,1/0.5,2/1,3 .

Здесь ZAKON – имя функции, RN3 – аргумент функции (значения третьего базового генератора GPSS), D4 – функция задается 4-мя точками, а способ аппроксимации ступенчатый. Сама функция задана координатами 4-х точек, заданными в виде списка 0,0/0.2,1/0.5,2/1,3.

Генерация и запоминание полученного значения v_i производится оператором в первом параметре заявки

ASSIGN 1,1,ZAKON .

Анализ наличия памяти реализуется оператором

TEST LE P1,R\$b_3,Lab_term1 ,

где реализуется отношение $(P1) LE (R$b_3) - ?$ или $(P1) <= (R$b_3) - ?$

Сам текст модели приведен ниже без указания точек сбора статистических данных.

```
b_3 STORAGE 12 ;2
b_2 STORAGE 4
INITIAL X$Otkaz,0
ZAKON FUNCTION RN3,D4
0,0/0.2,1/0.5,2/1,3
```

```
*****
GENERATE 50,25
ASSIGN 1,(DUNIFORM( 1, 2, 6 ))
TEST LE P1,R$b_3,Lab_term1
ENTER b_3,P1
SEIZE b_1
ADVANCE 5,2.5
RELEASE b_1
Lab_1 ENTER b_2
ADVANCE 30,15
LEAVE b_2
TRANSFER .5,,Lab_1
LEAVE b_3,P1
TERMINATE 1
Lab_term1 savevalue Otkaz+,1
TERMINATE 1
```

```
*****
GENERATE 33.3,17
ASSIGN 1,1,ZAKON
TEST LE P1,R$b_3,Lab_term2
ENTER b_3,P1
SEIZE b_1
ADVANCE 3.3,1.6
RELEASE b_1
Lab_2 ENTER b_2
ADVANCE 20,10
LEAVE b_2
TRANSFER .5,,Lab_2
LEAVE b_3,P1
TERMINATE 1
Lab_term2 savevalue Otkaz+,1
TERMINATE 1
```

СИСТЕМА 5. Система задается одним из перечисленных выше способов как система 1, но отличается характером использования памяти запросами, а также маршрутами движения запросов. В системе существенно отличается работа узла S₆.

Для второго потока это анализ состояния памяти по типу "свободно-занято".

Заявки первого потока даже при нехватке свободного места в памяти могут ожидать его появления. Однако для каждой заявки этого потока, которая должна попасть в очередь к памяти, проверяется условие: не превышен ли заданный порог текущего среднего времени ожидания в очереди?

Для всех заявок альтернативный маршрут – отказ в обслуживании.

Поэтому вместо узла S_6 введем два новых узла. Их можно обозначить как новые узлы S_8 и S_9 или как это обозначено здесь – $S^{(1)}_6$ и $S^{(2)}_6$.

Само проверяемое условие для узла $S^{(1)}_6$ может выглядеть как: ТекущаяДлинаОчереди * СреднееВремяОжиданияВОчереди < ПороговоеЗначение ?

При превышении заданного порога заявки первого типа не обслуживаются в системе.

Кроме этого, система отличается параметрами выбора альтернативного маршрута после обслуживания в узле S_2 . Маршрут выбирается в узле S_7 . Т.е. при сохранении алгоритма его работы сами вероятности и направления переходов разные для потоков запросов разных типов. Здесь используем новые узлы – $S^{(1)}_7$ и $S^{(2)}_7$ (или используем обозначения S_8 и S_9). Заявки второго потока используют память по-прежнему, однако движутся в соответствии со своей матрицей переходов и отличаются параметрами выбора дальнейшего маршрута движения после узла S_2 .

Матрица переходов заявок первого потока приведена в таблице 47.

Таблица 47 – Матрица P (первый поток)

	S_0	S_1	S_2	$S_{3,1}$	$S_{3,2}$	S_4
S_0				1		
S_1			1			
S_2			0,3		0,7	
$S_{3,1}$		1				
$S_{3,2}$						1
S_4						1

Матрица переходов заявок второго потока приведена в таблице 48.

Таблица 48 – Матрица P (второй поток)

	S_0	S_1	S_2	$S_{3,1}$	$S_{3,2}$	S_4
S_0				1		
S_1			1			
S_2		0,1			0,9	
$S_{3,1}$		1				
$S_{3,2}$						1
S_4						1

Ниже на рисунках 56 и 57 представлены модели, ориентированные на средства системы GPSS.

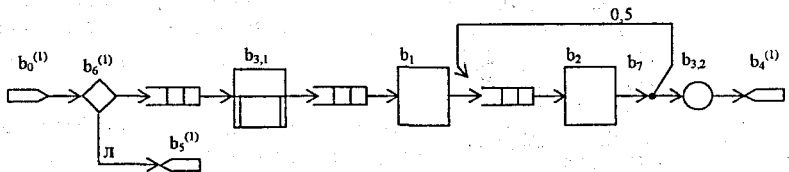


Рисунок 56 – ССМ системы 5, ориентированная на GPSS (первый поток)

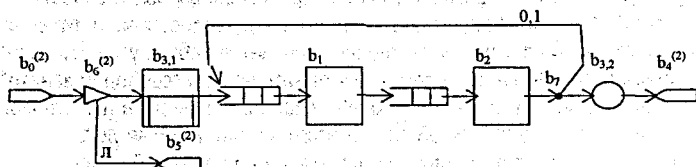


Рисунок 57 – ССМ системы 5, ориентированная на GPSS (второй поток)

В модели анализ условия ожидания памяти заявками первого типа реализуется оператором TEST

```
TEST LE ((Q$w_b_3)#(QT$w_b_3)),400,Lab_term1 ,
```

где анализируется отношение $\frac{((Q\$w_b_3)\#(QT\$w_b_3))}{((Q\$w_b_3)\#(QT\$w_b_3))} LE (400) - ?$ или $\frac{((Q\$w_b_3)\#(QT\$w_b_3))}{((Q\$w_b_3)\#(QT\$w_b_3))} \leq (400) - ?$

Здесь используются СЧА и обозначения:

- Q\$w_b_3 текущая длина очереди w_b_3;
- QT\$w_b_3 текущее среднее время ожидания в очереди w_b_3;
- # знак умножения;
- 400 пороговое значение среднего времени ожидания в очереди.

Сам текст модели приведен ниже без указания точек сбора статистических данных за исключением статистики по очереди запросов к узлу памяти, которая необходима для управления маршрутами движения запросов первого типа.

```

b_3      STORAGE  2
b_2      STORAGE  4
          INITIAL  X$Otkaz,0
*****
          GENERATE 50,25
          TEST LE  ((Q$w_b_3)#(QT$w_b_3)),400,Lab_term1
          queue   w_b_3
          ENTER   b_3
          depart  w_b_3
          SEIZE   b_1
          ADVANCE 5,2,5
          RELEASE b_1
Lab_1     ENTER   b_2
          ADVANCE 30,15
          LEAVE   b_2
          TRANSFER .5,,Lab_1
          LEAVE   b_3
          TERMINATE 1
Lab_term1 savevalue Otkaz+,1
          TERMINATE 1
*****
          GENERATE 33,3,17
          GATE SNF  b_3,Lab_term2
          queue   w_b_3
          ENTER   b_3
          depart  w_b_3
Lab_2     SEIZE   b_1
          ADVANCE 3.3,1.6
          RELEASE b_1
          ENTER   b_2
          ADVANCE 20,10

```

```

LEAVE      b_2
TRANSFER  .5,,Lab_2
LEAVE      b_3
TERMINATE  1
Lab_term2 savevalue Otkaz+,1
TERMINATE  1 .

```

Эта статистика фиксируется парой операторов

```

queue      w_b_3
depart     w_b_3 .

```

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ГРАФ МОДЕЛЕЙ

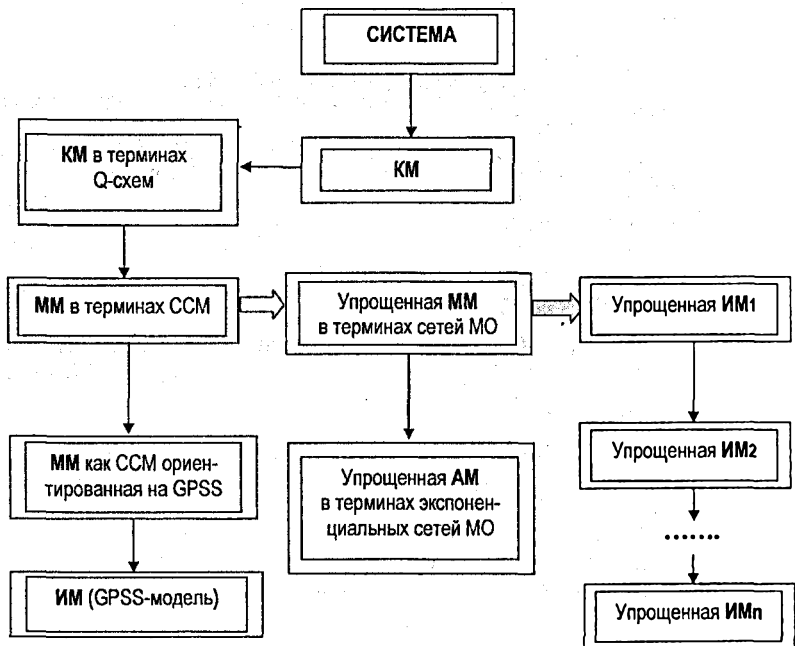


Рисунок 58 – Граф моделей

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. СОСТАВ ОТЧЕТНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Примерное содержание расчетно-пояснительной записки (перечень разрабатываемых вопросов) приведено ниже:

Введение.

1. Разработка концептуальной модели системы
2. Разработка и реализация математических моделей системы.
3. Разработка и реализация упрощенных математических моделей систем.
4. Исследование свойств моделей.
5. Исследование свойств системы.

Заключение.

Список использованных источников.

Приложения.

Примерный перечень графических материалов (таблиц, рисунков, графиков), листингов с текстами моделей и полученными результатами и других отчетных материалов, которые должны быть представлены в пояснительной записке, приведен ниже.

К главе 4 "Разработка концептуальной модели":

- рисунок 1. "Схема исходной Q-модели";
- рисунок 2. "Схема уточненной Q- модели";
- таблица 1. "Уточненные матрицы переходов потоков заявок";
- таблица 2. "Перечень параметров узлов";
- таблица 3. "Перечень параметров потоков";
- таблица 4. "Значения параметров потоков";
- таблица 5. "Значения параметров узлов";
- таблица 6. "Описание узловых характеристик";
- таблица 7. "Описание системных характеристик".

К главе 5 "Разработка математической модели":

- рисунок 3. "Схема ССМ".

К главе 6 "Разработка GPPS-ориентированной имитационной модели":

- рисунок 4. "Схема GPPS-ориентированной ССМ";
- таблица 8. "Измерение узловых характеристик ССМ";
- таблица 9. "Измерение и вычисление системных характеристик ССМ".

К главе 7 "Разработка, реализация и исследование упрощенных моделей".

Подраздел "Аналитическое моделирование":

- рисунок 5. "Схема сети МО";
- рисунок 6. "Схема GPPS-модели сети МО";
- рисунок 7. "Зависимость погрешностей характеристик от длительности моделирования";
- таблица 10. "Значения параметров сети МО";
- таблица 11. "Значения характеристик сети МО";
- таблица 12. "Результаты аналитического и имитационного моделирования сети МО";
- листинг 1. "Текст GPSS-модели сети МО".

Подраздел "Результаты исследования упрощенных имитационных моделей и системы":

- рисунок 8. "Зависимость характеристик системы от интенсивности входного потока";
- рисунок 9. "Зависимость характеристик модели от числа заявок (замкнутый режим работы)";

- таблица 13. "Влияние законов распределения на характеристики системы";
 - таблица 14. "Влияние канальностей устройств на характеристики системы";
 - таблица 15. "Влияние емкости памяти на характеристики системы";
 - таблица 16. "Влияние эффектов управления на характеристики системы".
- К главе 8 "Реализация и исследование имитационной модели":
- рисунок 10. "Зависимость погрешностей характеристик от длительности моделирования";
 - таблица 17. "Значения узловых характеристик GPSS-модели системы";
 - таблица 18. "Значения системных характеристик GPSS-модели системы";
 - таблица 19. "Анализ стационарности режима функционирования (характеристик) GPSS-модели системы";
 - листинг 2. "Текст GPSS-модели системы";
 - листинг 3. "Статистический отчет выполнения GPSS-модели системы".
- К главе 9 "Исследование свойств системы":
- рисунок 11. "Прогнозирование характеристик системы при росте интенсивностей потоков заявок";
 - рисунок 12. "Прогнозирование характеристик системы в замкнутом режиме функционирования".

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО КОМАНДАМ ЯЗЫКА GPSS

Система моделирования GPSS World включает входной язык для описания моделей и задания режимов моделирования и соответствующее программное обеспечение, обеспечивающее интерфейс, моделирование и статистическую обработку результатов [2-5, 10].

Синхронизация событий в модели выполняется с использованием модельного времени (системных часов), которое в GPSS представляется целым, безразмерным числом. Системные часы управляются командами START и RESET.

Пример моделирования. Объект моделирования – станок, обслуживающий поток деталей. Детали поступают через случайное время, распределенное по равномерному закону в диапазоне 4-16 с (со средним значением 10 с). Время обслуживания детали – случайная величина, распределенная по равномерному закону в диапазоне 3-9 с (со средним значением 6 с). Требуется промоделировать работу объекта в течение полчаса, т.е. 1800 с. Текст GPSS-модели с соответствующими комментариями приведен ниже. Модель включает сегмент описания объекта (операторы 1-7) и сегмент описания системных часов (операторы 8-9).

***ПЕРВЫЙ сегмент

- | | | | |
|---|----------|------|--|
| 1 | Generate | 10,6 | - генерация заявок (моментов появления деталей) через время, распределенное по равномерному закону в диапазоне 10 ± 6 с; |
| 2 | Queue | A | - отметка заявки в очереди A (фиксация времени появления детали в системе); |
| 3 | Seize | 1 | - занятие одноканального устройства № 1 (станка); |
| 4 | Depart | A | - отметка заявки в очереди A (фиксация начала обработки детали); |

5	Advance	6,3	- задержка заявки на время, распределенное равномерно в диапазоне 6 ± 3 с (имитация обработки детали);
6	Release	1	- освобождение устройства № 1 (завершение обработки детали);
7	Terminate		- изъятие заявки из сети (завершение обслуживания).
***ВТОРОЙ сегмент			
8	Generate	1800	- генерация очередной заявки через 1800 единиц модельного времени;
9	Terminate	1	- изъятие заявки из сети и уменьшение значения системных часов (счетчика) на 1;
10	START	1	- команда начала моделирования и установки счетчика – системных часов в 1;
11	END		- команда завершения работы с системой GPSS.

По команде START системные часы устанавливаются в соответствии со значением параметра команды, здесь в единицу. Далее выполняется моделирование, состоящее в одновременном выполнении всех (здесь двух) сегментов модели, начиная с операторов 1 и 8 соответственно. Первый транзакт, пройдя операторы (блоки) 1-4, перестает быть активным, и его дальнейшее продвижение блокируется на время задержки обслуживания оператором 5. Все остальные транзакты, сгенерированные оператором 1, пока имитируется обслуживание текущего (первого) транзакта, отмечаются в очереди А (оператор 2) и приостанавливаются на входе в оператор 3 до момента его освобождения и т.д.

Во втором сегменте первая заявка появится ровно через 1800 единиц модельного времени с начала моделирования. Текущее значение системных часов будет уменьшаться при выполнении каждого оператора TERMINATE на значение его параметра, здесь на единицу. Обнуление часов приведет к завершению моделирования, которое можно продолжить новой командой START.

Другой способ управления модельным временем состоит в явном задании количества заявок, которые должны пройти через модель объекта за все время моделирования, например 10000 заявок. Для этого:

- команда START 1 заменяется на START 10000 ;
- 7-й оператор TERMINATE на TERMINATE 1 ;
- второй сегмент исключается из модели.

Тогда по команде START системные часы будут установлены в значение 10000, а каждый обслуженный транзакт, проходя через оператор TERMINATE 1, уменьшит его значение на единицу. Соответственно часы обнулятся только после прохождения через модель заявки с № 10000.

Ниже на рисунке 59 представлена классификация основных операторов, приведены форматы наиболее часто используемых операторов и команд.

Команды GPSS предназначены для управления моделью, созданной на основе операторов. Это команды типа START, RESET, CLEAR и др.

START A – передает управление интерпретатору для реализации моделирования текущей модели. Значение операнда А (целое) используется для задания длительности моделирования – начальной установки счетчика завершения модели.

RESET – позволяет обнулить собранные статистические данные и значения системных атрибутов. При этом сохраняются текущее значение модельного времени и текущие состояния генераторов случайных чисел.

CLEAR – работает так же как предыдущая команда, обнуляя всю статистику, но устанавливает генераторы и датчики случайных чисел в исходное состояние.

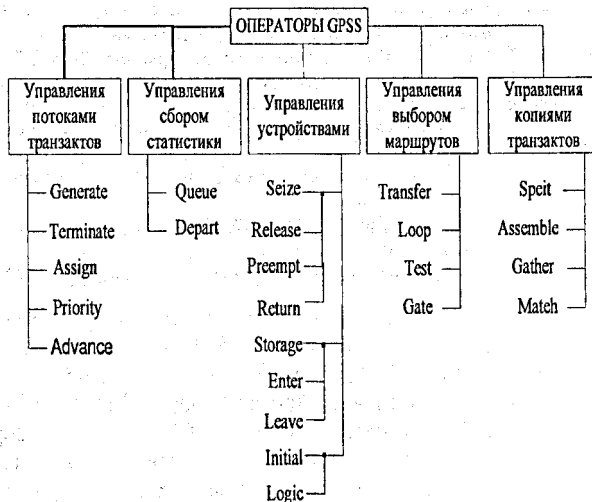


Рисунок 59 – Базовые операторы GPSS

Декларативные операторы используются для описания параметров узлов, вычисляемых объектов: сохраняемых величин (ячеек и матриц), переменных (арифметических и логических), функций.

Переменные описываются оператором VARIABLE:

<имя_переменной> **VARIABLE** <выражение>

который устанавливает связь между переменной и ее выражением.

Сохраняемые величины инициализируются оператором INITIAL и изменяются операторами SAVEVALUE и MSAVEVALUE.

INITIAL A, [B] – оператор, задающий начальное значение B (по умолчанию единица) объекта A ($A := B$). В качестве объектов могут использоваться логические ключи (LS), ячейки (Xj), ячейки матриц ($MXj(m,n)$ или $MX\$X(m,n)$).

SAVEVALUE A[±], B – оператор, изменяющий текущее значение объекта A ($A := B$ или $A := A \pm B$). В качестве объектов могут использоваться ячейки сохраняемых величин (Xj).

MSAVEVALUE A[±], B – аналогичный оператор, где в качестве объектов могут использоваться ячейки матриц ($MXj(m,n)$ или $MX\$X(m,n)$).

Функции позволяют описывать табличные зависимости величин с помощью декларативных операторов FUNCTION

<имя_функции> **FUNCTION** A, B Z .

Здесь операнд A задает аргумент функции, операнд B описывает тип функции (тип аппроксимации) и задает число пар значений (точек), используемых при ее описании в виде конструкции <тип_аппроксимации><число_точек>. Допустимо задание функций: с кусочно-линейной (непрерывной); ступенчатой (дискретной) аппроксимацией; табличное, точечное задание функции без аппроксимации; задание дискретных атрибутивных; и табличных атрибутивных функций, с <типом_аппроксимации> = C I D ! L E ! M соответственно. Аргумент Z описывает функцию в виде значений пар точек.

Операторы управления потоками транзактов включают операторы GENERATE, TERMINATE, ASSIGN, PRIORITY, ADVANCE и др.

GENERATE [A], [B], [C], [D], [E] – генерирует поток однородных заявок (транзактов) с заданным пользователем законом поступления – законом распределения промежутков времени между их появлениями. Операнд A задает время или среднее время, через которое появляется очередной транзакт, B – модифицирует это время, придавая ему случайный характер. Если B – целое число, то время появления транзактов подчиняется равномерному закону распределения в диапазоне значений $A \pm B$. Если B – ссылка на функцию (например, функцию распределения), то время, через которое появится очередной транзакт, определяется произведением $A \cdot B$ среднего значения A на текущее значение функции B. При отсутствии модификатора имитируется регулярный поток. Операнд C (по умолчанию ноль) задает время задержки появления первого транзакта или время, с которого начинается работа GENERATE. Операнд D – предельное число транзактов, генерируемых в ходе моделирования (по умолчанию не ограничено), E – приоритет транзактов (по умолчанию ноль). При отсутствии операндов A и B генерируется серия из D транзактов, т.е. генератор работает как групповой. На оператор GENERATE нельзя ссылаться.

TERMINATE [A] – оператор терминации, выполняющий функции приемника заявок. Он извлекает транзакт из модели и уменьшает значение счетчика завершений на значение A.

ASSIGN A, B, [C] – позволяет задавать или модифицировать текущее значение параметра транзакта с номером A. Новое значение задается операндом B и его модификатором C.

PRIORITY A – присваивает каждому пришедшему транзакту приоритет A (целое число – 0...127).

ADVANCE A, [B] – выполняет задержку транзакта на время, подчиняющееся заданному пользователем закону распределения. Транзакт становится пассивным и помещается в цепь будущих событий. Как и в операторе GENERATE, операнд A задает время или среднее время, на которое задерживается транзакт, а B – модифицирует это время с использованием метода обратных функций.

Операторы управления сбором статистики.

QUEUE A – отметить в первой контрольной точке “очереди” A.

DEPART A – отметить во второй контрольной точке “очереди” A.

Операторы управления обслуживающими одноканальными узлами.

SEIZE A – захватить устройство с номером A.

RELEASE A – освободить устройство с номером A.

Приоритетное обслуживание реализуется операторами:

PREEMPT A – захватить устройство с номером A.

RETURN A – освободить устройство с номером A.

Операторы управления памятью. При работе с памятью используют декларативный и управляющие операторы. Декларативный оператор предшествует первому оператору GENERATE и описывает емкость памяти в виде числа каналов A

<имя_памяти> STORAGE A

Управление реализуется операторами:

ENTER A, [B] – в многоканальном узле A захватить B (по умолчанию один) каналов одновременно;

LEAVE A, [B] – в многоканальном узле A освободить B (по умолчанию один) каналов одновременно.

Операторы управления маршрутами.

TRANSFER [A], [B], [C], [D], [E] – используется в разных модификациях, в частности, определяемых значением первого операнда. Основные из них описаны ниже.

TRANSFER B – маршрутный узел, безусловно отправляющий транзакт к оператору с меткой, указанной операндом B.

TRANSFER .<число>, B, C – вероятностный маршрутный узел, отправляющий транзакт с вероятностью, заданной в операнде A как <число>, в узел с меткой, указанной операндом C. С вероятностью $1 - \text{<число>}$ транзакт отправляется в узел с меткой, указанной операндом B. Значение вероятности <число> может быть задано непосредственно как доля единицы или с использованием косвенной адресации.

TEST X A, B, [C] – определяет направление дальнейшего движения транзакта в зависимости от результатов проверки заданного условия ($[A] X [B] = \text{ИСТИНА} - ?$). Здесь X задает вид проверки, отношения (G, GE, NE, E, LE, L), а значения операндов A, B – сравниваемые величины. Если результат проверки – ИСТИНА, то транзакт отправляется в следующий по порядку оператор (узел). В противном случае транзакт останавливается на входе в оператор TEST (становится задержанным, перестает продвигаться по сети и ждет, когда проверяемое условие удовлетворится), либо, если использован операнд C, отправляется в узел с указанной в нем меткой.

GATE X A, [B] – определяет маршрут дальнейшего движения транзакта в зависимости от текущего состояния X у указанного объекта (узла) A (т.е. $X[A] = \text{ИСТИНА} - ?$). Поле X задает тип проверяемого состояния (см. таблицу ниже) устройства, многоканального устройства, логического ключа, синхронизируемого транзакта, а операнд A задает его адрес. Если результат проверки истина, то транзакт отправляется в следующий по порядку оператор (узел) модели. В противном случае транзакт задерживается на его входе (перестает продвигаться и ждет, когда узел примет необходимое состояние) либо, если использован операнд B, отправляется в узел с указанной там меткой.

Таблица 49 – Состояния узлов

ЛОГИЧЕСКИЕ КЛЮЧИ	
LS	ключ включен
LR	ключ выключен
УСТРОЙСТВА	
U	устройство используется (занято)
NU	устройство не используется (свободно)
ПАМЯТЬ	
SF	память заполнена
SNF	память не заполнена
SE	память пуста
SNE	память не пуста

ПРИЛОЖЕНИЕ 6. СТАНДАРТНАЯ СТАТИСТИКА GPSS

Интерпретатор автоматически собирает стандартный набор статистики по каждому объекту модели [2-5, 10]. В то же время, используя средства языка, можно управлять составом статистики, способом ее обработки и формой конечного представления пользователю. В частности, можно расставлять точки сбора статистики, используя операторы QUEUE и DEPART. Статистический отчет содержит результаты моделирования, сгруппированные в секции, представленные в таблице ниже.

Таблица 50 – Основные компоненты отчета GPSS

Значение	Назначение	СЧА
Start time End time	СЕКЦИЯ – ОБЩАЯ СТАТИСТИКА начальное значение времени моделирования конечное значение времени моделирования	
Line Type EntryCount	СЕКЦИЯ – СТАТИСТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЛОКОВ номер соответствующей строки в программе тип, название оператора количество транзактов, прошедших через оператор с начала моделирования	
Facility Entries Util. Ave. Time Available	СЕКЦИЯ – СТАТИСТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТРОЙСТВ номер, имя устройства количество входов в устройство коэффициент использования (ρ_j) среднее время обслуживания одного транзакта признак доступности (0-занято; 1-свободно)	FCj FRj FTj Fj
Queue Count Entries Ave. count Ave. time	СЕКЦИЯ – СТАТИСТИКА ОЧЕРЕДЕЙ номер, имя очереди текущая длина очереди число транзактов, вошедших в очередь средняя длина очереди (l_j) среднее время ожидания в очереди (ω_j)	Qj QCj QAj QTj
Storage Remain Entries Ave. c Util.	СЕКЦИЯ – СТАТИСТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАМЯТЕЙ номер, имя памяти количество оставшейся свободной памяти число транзактов, вошедших в память средний объем занятой памяти коэффициент использования памяти объем занятой памяти (текущий) среднее время пребывания заявки в памяти признак отсутствия транзактов в памяти признак полной занятости памяти	Rj SCj SAj SRj Sj STj SEj SFj

ПРИЛОЖЕНИЕ 7. ХАРАКТЕРИСТИКИ СМО

СМО М/М/К – это системы массового обслуживания, обслуживающие узлы с К каналами, на вход которых поступает поток заявок с интенсивностью λ . Значения времени t (τ) между соседними заявками во входном потоке распределены по экспоненциальному закону. Среднее значение $m_t = 1 / \lambda$. Так же распределена длительность t обслуживания заявок в каждом канале узла. СМО (узел b_j) изображена на рисунке ниже. Значения λ , K , t являются параметрами СМО, т.е. задаются при описании СМО.

Для таких СМО известны формулы расчёта характеристик [7, 10]. Это следующий набор характеристик:

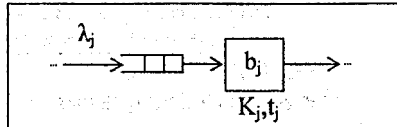


Рисунок 60 – Система массового обслуживания

- среднее число заявок, ожидающих обслуживания в узле (средняя длина очереди) l_j ;
- среднее число заявок, находящихся в узле (как в ожидании обслуживания так и на обслуживании) m_j ;
- среднее число занятых каналов R_j ;
- среднее время ожидания заявки в очереди ω_j ;
- среднее время пребывания заявки в узле u_j .

Расчет большинства характеристик требует знания такой характеристики, как коэффициент загрузки канала узла ρ_j , рассчитываемой по формуле:

$$\rho_j = \lambda_j \cdot t_j / K_j$$

Значение R_j вычисляется как

$$R_j = \lambda_j t_j = \rho_j K_j$$

Для одноканального узла (случай М/М/1, $K_j = 1$) большинство формул значительно упрощается. Так,

$$R_j = \rho_j$$

Вероятность простоя узла $P_{0,j}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{0,j} = \left[\sum_{M_j=0}^{K_j-1} \frac{(\rho_j K_j)^{M_j}}{M_j!} + \frac{(\rho_j K_j)^{K_j}}{K_j!(1-\rho_j)} \right]^{-1}$$

Здесь значение M_j , означающее число заявок в системе, выполняет роль параметра суммирования. Вероятность простоя узла затем используется в ряде формул расчета других узловых характеристик.

Для случая $K_j = 1$ используется формула:

$$P_{0,j} = 1 - \rho_j$$

Если необходимо рассчитать вероятность P_{M_j} любого другого состояния узла (т.е. вероятность размещения в нем ровно M_j заявок), то используется формула:

$$P_{M_j} = P[m_j^* = M_j] = \frac{\rho_j^{M_j} \beta_j(M_j)}{\sum_{M_j=0}^{K_j-1} \frac{(\rho_j K_j)^{M_j}}{M_j!} + \frac{(\rho_j K_j)^{K_j}}{K_j!(1-\rho_j)}}$$

Для случая $K_j = 1$ указанная формула сводится к формуле:

$$P_{m_j} = \rho_j^{m_j} (1 - \rho_j)$$

Соответственно, если необходимо рассчитать вероятность $P(M_1, M_2, \dots, M_N)$ состояния однородной линейной разомкнутой экспоненциальной сети, состоящей из N узлов, то используются выше полученные вероятности состояний отдельных узлов в формуле:

$$P[M_1, M_2, \dots, M_N] = P_{m_1, m_2, \dots, m_N} = \prod_{j=1}^N \frac{\rho_j^{M_j} \beta_j(M_j)}{\sum_{M_j=0}^{K_j-1} \frac{(\rho_j K_j)^{M_j}}{M_j!} + \frac{(\rho_j K_j)^{K_j}}{K_j!(1-\rho_j)}}$$

Для случая $K_j = 1$ используется формула:

$$P_{m_1, m_2, \dots, m_N} = \prod_{j=1}^N (1 - \rho_j) \rho_j^{m_j}$$

Средняя длина очереди ждущих заявок в узле j определяется как

$$l_j = \frac{(\lambda_j t_j)^{K_j+1} \cdot P_{0,j}}{K_j! K_j (1 - \lambda_j t_j / K_j)^2} = \frac{(\rho_j K_j)^{K_j+1} \cdot P_{0,j}}{K_j! K_j (1 - \rho_j)^2} = \frac{R_j^{K_j+1} \cdot P_{0,j}}{K_j! K_j (1 - \rho_j)^2}$$

Для случая $K_j = 1$ используется формула:

$$l_j = \rho_j^2 (1 - \rho_j).$$

Среднее число заявок в узле j определяется как

$$m_j = l_j + R_j = \frac{R_j^{K_j+1} \cdot P_{0,j}}{K_j! K_j (1 - \rho_j)^2} + \rho_j K_j$$

Для случая $K_j = 1$ используется формула:

$$m_j = \rho_j / (1 - \rho_j).$$

Среднее время ожидания заявки в узле определяется как

$$\omega_j = \frac{l_j}{\lambda_j} = \frac{R_j^{K_j} \cdot P_{0,j}}{K_j! K_j (1 - \rho_j)^2 \lambda_j} = \frac{R_j^{K_j} \cdot P_{0,j} \tau_j}{K_j! K_j (1 - \rho_j)^2}$$

Для случая $K_j = 1$ используется формула:

$$\omega_j = \frac{\rho_j^2}{(1 - \rho_j) \lambda_j} = \frac{\rho_j^2 \tau_j}{(1 - \rho_j)}$$

Среднее время пребывания заявки в узле (среднее время обработки, включая ожидания обслуживания) определяется как

$$u_j = \frac{m_j}{\lambda_j} = \omega_j + t_j = \frac{R_j^{K_j} \cdot P_{0,j}}{K_j! K_j (1 - \rho_j)^2 \lambda_j} + t_j$$

Для случая $K_j = 1$ используется формула:

$$u_j = \tau_j / (1 - \rho_j) = \frac{\rho_j}{(1 - \rho_j) \lambda_j}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДЫ GPSS WORLD

После запуска системы пользователь управляет ее работой через оконный интерфейс [2-5], представленный ниже.

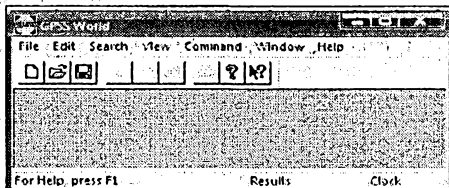


Рисунок 61 – Оконный интерфейс

Подпункт Settings... пункта меню Edit позволяет предварительно выполнить настройку системы.

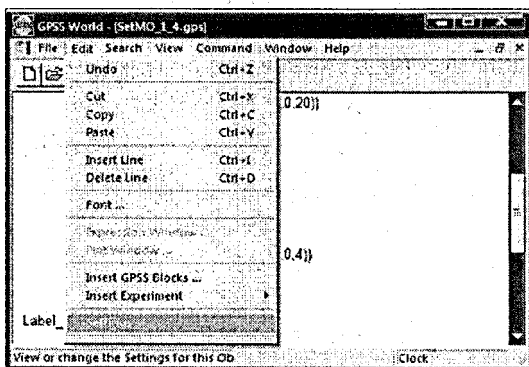


Рисунок 62 – Подпункт Edit

Для этого используются вкладки Моделирование (Simulation), Отчеты (Reports), Случайные числа (Random Numbers), Функциональные клавиши (Function Keys), Выражения (Expression).

В первую очередь настройки позволяют на вкладке Reports выбрать состав отчета о моделировании, генерируемый системой.

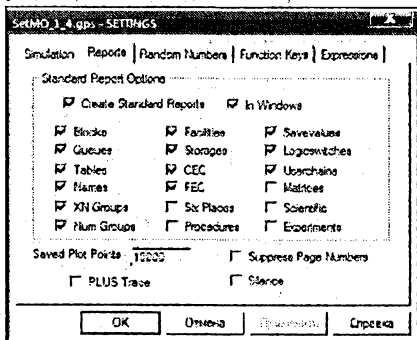


Рисунок 63 – Вкладка Reports

Сеанс моделирования начинается либо загрузкой ранее созданного текста модели (из файла с расширением *.gps), либо, как показано ниже, созданием нового документа.

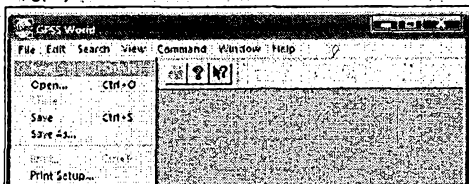


Рисунок 64 – Подменю File

Для этого задается тип нового документа – текст модели (Model).

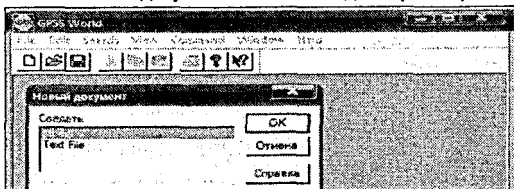


Рисунок 65 – Выбор типа документа

После этого пользователь получает возможность работать в клиентской области окна – вводить и редактировать описание модели. При этом операторы (блоки) GPSS могут вводиться вручную либо с использованием подпункта меню Insert GPSS Blocks... (Вставить GPSS блоки).

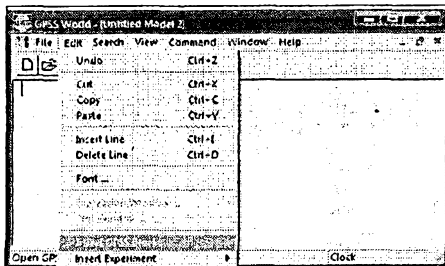


Рисунок 66 – Вставка блоков (операторов)

Нужный оператор выбирается из предложенной таблицы – списка блоков.

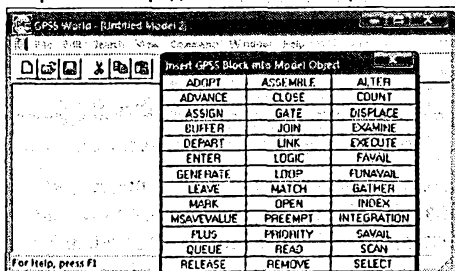
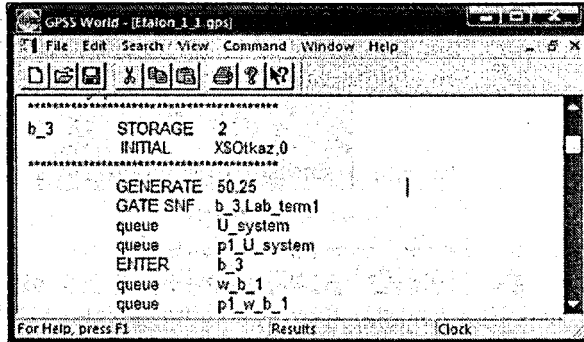


Рисунок 67 – Список вставляемых блоков

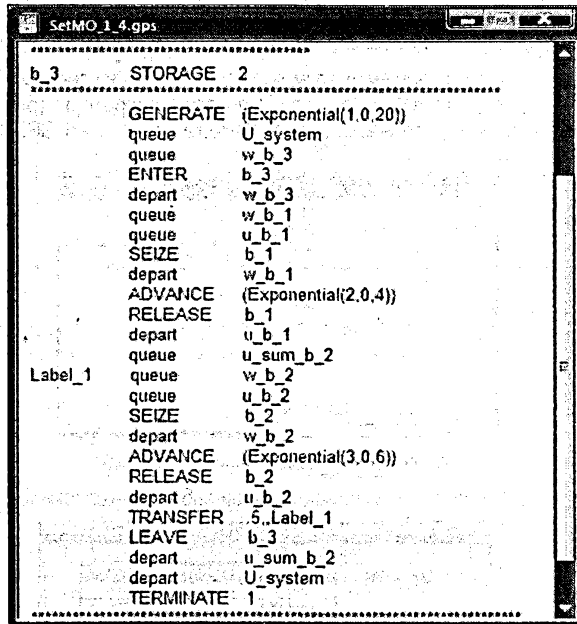
Фрагмент набранного текста представлен ниже.



```
GPSS World - [Etalon 1.1 gps]
File Edit Search View Command Window Help
b_3 STORAGE 2
INITIAL XS0tkaz,0
*****
GENERATE 50.25
GATE SNF b_3.Lab_term1
queue U_system
queue p1_U_system
ENTER b_3
queue w_b_1
queue p1_w_b_1
For Help, press F1 Results Clock
```

Рисунок 68 – Фрагмент текста GPSS

Пример готового исходного текста модели представлен ниже.



```
SetMO 1.4.gps
*****
b_3 STORAGE 2
*****
GENERATE (Exponential(1,0.20))
queue U_system
queue w_b_3
ENTER b_3
depart w_b_3
queue w_b_1
queue u_b_1
SEIZE b_1
depart w_b_1
ADVANCE (Exponential(2,0.4))
RELEASE b_1
depart u_b_1
queue u_sum_b_2
Label_1 queue w_b_2
queue u_b_2
SEIZE b_2
depart w_b_2
ADVANCE (Exponential(3,0.6))
RELEASE b_2
depart u_b_2
TRANSFER .5,Label_1
LEAVE b_3
depart u_sum_b_2
depart U_system
TERMINATE 1
*****
```

Рисунок 69 – Пример исходного текста модели GPSS

Для подготовки моделирования выполняется предварительная трансляция текста модели командой Create Simulation (Выполнить моделирование).

Кроме файла с текстом модели, в процессе моделирования GPSS ведет ряд других файлов, таких как Журнал (Journal с расширением *.sim), для протоколирования выполняемых в процессе моделирования команд, Отчет (Report с расширением *.rpt) и др.

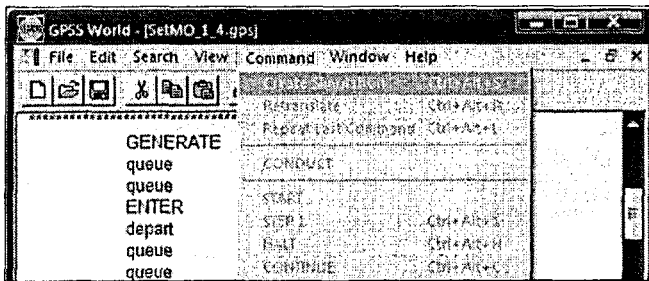


Рисунок 70 – Подпункт Command

При нормальном завершении в Журнале появляется сообщение "Трансляция модели начата". А затем сообщение – "Готово".

При внесении изменений в текст модели, при исправлении ошибок текст следует заново перетранслировать.

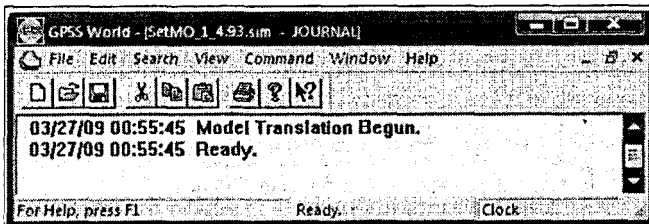


Рисунок 71 – Сообщения GPSS

Теперь модель готова для моделирования, которое инициируется командой START.

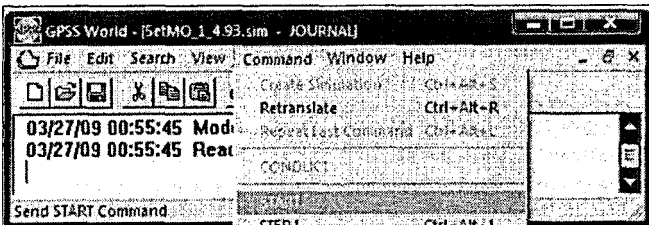


Рисунок 72 – Запуск модели GPSS

В окне команды Старт следует скорректировать ее параметр.

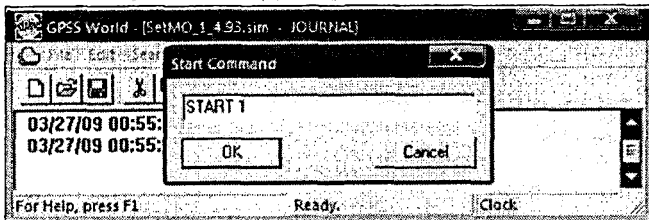


Рисунок 73 – Запуск модели GPSS

Например, задать число 50 000 – число транзактов, которое должно пройти через модель до момента завершения моделирования.

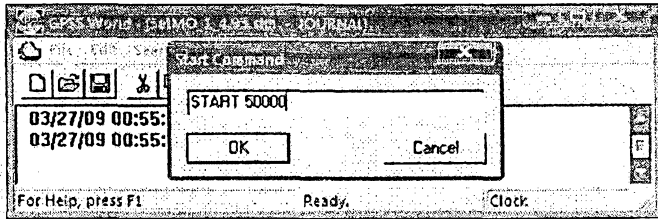


Рисунок 74 – Установка длительности моделирования

Соответственно начнется моделирование, которое может занять промежуток времени от долей секунд до минут, часов в зависимости от сложности модели и заданной длительности моделирования.

В Журнале появится сообщение START 50 000 и Simulation in Progress (Выполняется моделирование). По окончании моделирования появляется сообщение The Simulation has ended (Моделирование завершено). При внесении изменений в текст модели, при исправлении ошибок текст следует заново перетранслировать.

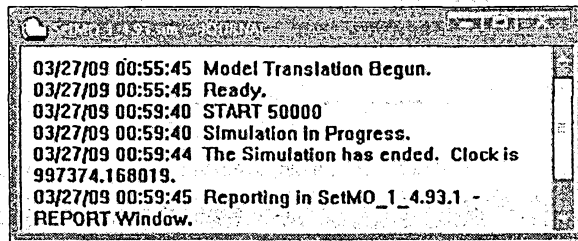


Рисунок 75 – Сообщения GPSS

При нормальном завершении моделирования (сообщение – The Simulation has ended) система автоматически генерирует файл Отчета о результатах моделирования.

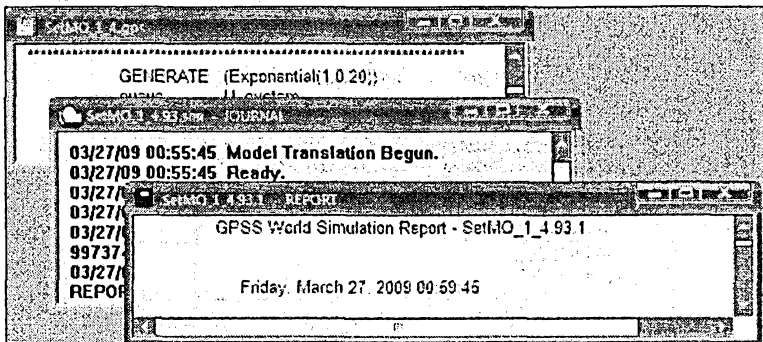


Рисунок 76 – Файлы GPSS

Ниже представлен фрагмент отчета.

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
B_1	2	0.462	6.043	1	2	0	0	0	0
B_2	1	0.098	2.562	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
U_SYSTEM	3	2	3	0	0.935	8.153	8.153	0
W_B_3	1	1	3	2	0.095	0.831	2.494	0
W_B_1	1	0	2	1	0.280	3.659	7.318	0
U_B_1	2	1	2	0	0.742	9.702	9.702	0
U_SUM_B_2	1	0	1	0	0.098	2.562	2.562	0
W_B_2	1	0	1	1	0.000	0.000	0.000	0
U_B_2	1	0	1	0	0.098	2.562	2.562	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE. C.	UTIL.	RETRY	DELAY
B_3	2	0	0	2	3	1	0.840	0.420	0	0

Рисунок 77 – Фрагмент отчета GPSS

Здесь секция Facility содержит характеристики устройств B_1, B_2: например, загрузки устройств – Util., среднее время обслуживания – Ave. Time. Секция Queue содержит характеристики контрольных точек – “очередей” (queue-depart) с именами U_System, W_B_3 и др.: например, среднее время пребывания (ожидания) – Ave. Time.

Секция Storage содержит характеристики памяти B_3: например, загрузки – Util., средний занятый объем – Ave. C.

При необходимости продолжить моделирование от текущей точки выполняется очередная команда START; для продолжения моделирования от текущей точки со сбросом ранее накопленной статистики выполняется команда RESET и очередная команда START; для реализации нового моделирования в этом же сеансе следует либо заново перетранслировать модель, либо привести систему в исходное состояние командой CLEAR и выполнить команду START.

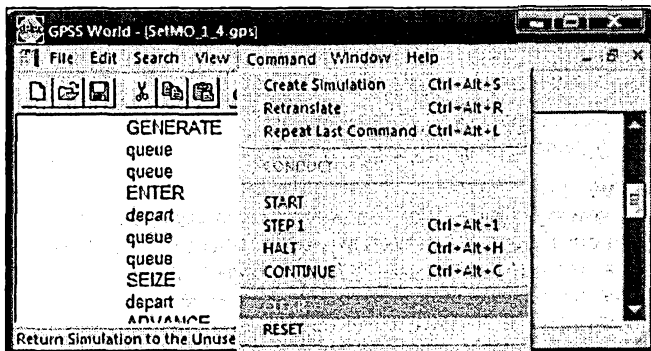


Рисунок 78 – Подпункт Command

ПРИЛОЖЕНИЕ 9. ФУНКЦИИ ТИПОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВЕРОЯТНОСТЕЙ GPSS

Система GPSS World в составе встроенного в GPSS алгоритмического языка PLUS содержит библиотеку функций и в том числе функций для генерации (имитации) многочисленных типовых распределений.

Это функции, позволяющие имитировать такие распределения, как:

- биномиальное;
- геометрическое;
- обратное гауссово распределение (Inverse Gaussian);
- обратное распределение Вейбула (Inverse Weibull);
- распределение Лапласа;
- логистическое распределение;
- логлапласово распределение (LogLaplace);
- логлогистическое распределение (LogLogistic);
- логнормальное распределение;
- отрицательное биномиальное распределение (Negative Binomial);
- распределение Парето;
- распределение Пирсона типа V (Pearson Type V);
- распределение Пирсона типа VI (Pearson Type VI);
- пуассоновское распределение;
- распределение Вейбула и другие распределения.

Ниже подробнее описаны наиболее употребимые функции языка PLUS.

Непрерывное бета-распределение. Прототип функции

real Y = BETA (Stream, Min, Max, Shape1, Shape2) .

Здесь аргументы функции:

- Stream – номер используемого встроенного датчика равномерно-распределенных чисел в диапазоне 0-1 (произвольное натуральное число от единицы);
- Min – левая граница распределения (вещественное число);
- Max – правая граница распределения (вещественное число);
- Shape1, Shape2 – только вещественное положительное.

Значение функции – одно значение указанного распределения (вещественное число).

Примечание:

- при Shape1 = Shape2 = 1 распределение превращается в равномерное.

Дискретное равномерное распределение. Прототип функции

Integer Y = DUNIFORM(Stream, Min, Max) .

Здесь аргументы функции:

- Stream – номер используемого встроенного датчика равномерно-распределенных чисел в диапазоне 0-1 (произвольное натуральное число от единицы);
- Min – левая граница распределения (вещественное число);
- Max – правая граница распределения (вещественное число);

Значение функции – одно значение указанного распределения (целое число).

Непрерывное экспоненциальное распределение. Прототип функции

real Y = EXPONENTIAL(Stream, Locate, Scale) .

Здесь аргументы функции:

- Stream – номер используемого встроенного датчика равномерно-распределенных чисел в диапазоне 0-1 (произвольное натуральное число от единицы);

- Min – левая граница распределения (вещественное число);
- Locate – сдвиг распределения (обычно ноль, вещественное число);
- Scale – параметр экспоненциального распределения $1 / \lambda$ (только вещественное положительное).

Значение функции – одно значение указанного распределения (вещественное число).

Непрерывное гамма-распределение. Прототип функции

real Y = **GAMMA**(Stream, Locate, Scale, Shape)

Здесь аргументы функции:

- Stream – номер используемого встроенного датчика равномерно-распределенных чисел в диапазоне 0-1 (произвольное натуральное число от единицы);

- Min – левая граница распределения (вещественное число);

- Locate – сдвиг распределения (обычно ноль, вещественное число);

- Scale – параметр экспоненциального распределения $1 / \lambda$ (только вещественное положительное);

- Shape – только вещественное положительное.

Значение функции – одно значение указанного распределения (вещественное число).

Примечание:

- при Shape = 1 распределение превращается в экспоненциальное;

- при Shape = m, где m положительное целое число, распределение превращается в распределение Эрланга (параметр m).

Непрерывное нормальное распределение. Прототип функции

real Y = **NORMAL**(Stream, Mean, StdDev) .

Здесь аргументы функции:

- Stream – номер используемого встроенного датчика равномерно-распределенных чисел в диапазоне 0-1 (произвольное натуральное число от единицы);

- Mean – среднее значение распределения (вещественное число);

- StdDev – стандартная девиация распределения (вещественное положительное число).

Значение функции – одно значение указанного распределения (вещественное число).

Непрерывное треугольное распределение. Прототип функции

real Y = **TRIANGULAR**(Stream, Min, Max, Mode) .

Здесь аргументы функции:

- Stream – номер используемого встроенного датчика равномерно-распределенных чисел в диапазоне 0-1 (произвольное натуральное число от единицы);

- Min – левая граница распределения (вещественное число меньше Mode);

- Max – правая граница распределения (вещественное число больше Mode);

- Mode – мода, наиболее вероятное значение распределения (вещественное).

Значение функции – одно значение указанного распределения (вещественное число).

Непрерывное равномерное распределение. Прототип функции

Real = **UNIFORM**(Stream, Min, Max) .

Здесь аргументы функции:

- Stream – номер используемого встроенного датчика равномерно-распределенных чисел в диапазоне 0-1 (произвольное натуральное число от единицы);

- Min – левая граница распределения (вещественное число меньше Max);

- Max – правая граница распределения (вещественное число больше Min);

Значение функции – одно значение указанного распределения (вещественное число).

ПРИЛОЖЕНИЕ 10. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ЯЗЫКА GPSS

Здесь на примере рассмотрены дополнительные средства языка GPSS [2-5] в части:

- управления сбором статистических данных, включая построение статистических таблиц;
- структурирования модели, повышения ее читаемости, в том числе, за счет использования мнемонических имен, сохраняемых величин и матриц сохраняемых величин, в частности для задания параметров сети.

В качестве примера моделируется следующая система. Запросы случайного потока (детали) направляются на обработку в станок (в модели это одноканальный узел Stanok) в соответствии с дисциплиной обслуживания FIFO. С известной вероятностью $p_0 = 0,3$ обслуживание запроса может не состояться.

Схема модели представлена на рисунке ниже.

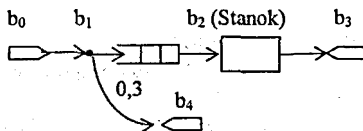


Рисунок 79 – Модель системы с отказами

Узлы системы описаны в таблице ниже.

Таблица 51 – Описание узлов

СМ-узел	Описание
b ₀	одиночный источник
b ₁	вероятностный узел
b ₂	устройство (Stanok)
b ₃	приемник обслуженных запросов
b ₄	приемник запросов, которым было отказано в обслуживании

Ниже приведена матрица вероятностей переходов P.

Таблица 52 – Матрица P

	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
b ₀	0	1	0	0	0
b ₁	0	0	1-p ₀	0	p ₀
b ₂	0	0	0	1	0
b ₃	0	0	0	1	0
b ₄	0	0	0	0	1

Примерный текст модели и соответствующие комментарии приведены ниже.

```

Delay EQU 1
  initial X$ArivalTime,3
  initial X$Probabil,0,3
  initial X$OtkazCount,0
Stroka EQU 1
Stolbec EQU 1
Waiting variable P2-P1
  
```

```
Delay MATRIX ,3,4
initial MX$Delay(Stroka,Stolbec),3
initial MX$Delay(1,2),2
```

```
WaitTime QTABLE StanokWait,0,3,0,3,10
WaitTime1 TABLE V$Waiting,0,3,0,3,10
```

```
*****
GENERATE X$ArivalTime,1
ASSIGN 1,X$Probabil
TRANSFER P1,Label1,Label2
Label1 queue StanokWait
*assign 1,AC1
mark 1
SEIZE Stanok
* assign 2,AC1
mark 2
depart StanokWait
tabulate WaitTime1
ADVANCE MX$Delay(Stroka,1),MX$Delay(1,2)
*ADVANCE MX$Delay(Stroka,1),MX$Delay(1,2)
*ADVANCE MX1(1,1),MX1(1,2)
RELEASE Stanok
TERMINATE 1
Label2 savevalue OtkazCount+,1
TERMINATE 1
```

Закон поступления запросов равномерный (время распределено от 2 до 4 единиц). Здесь среднее значение распределения задается как параметр в виде сохраняемой величины ArivalTime, инициализируемой как

```
initial X$ArivalTime,3
```

Закон распределения времени обслуживания запросов равномерный (время распределено от 1 до 5 единиц). Здесь среднее значение распределения задается как параметр в виде сохраняемой величины в составе матрицы MX\$Delay(Stroka,Stolbec),3, а отклонение от среднего задается как соответствующий параметр MX\$Delay(1;2),2. Для этого используется матрица Delay сохраняемых величин, описываемая и инициализируемая как

```
Delay MATRIX ,3,4
initial MX$Delay(Stroka,Stolbec),3
initial MX$Delay(1,2),2
```

Вероятность отказа в обслуживании задается как параметр в виде сохраняемой величины Probabil, инициализируемой как

```
initial X$Probabil,.3
```

Значение вероятности запоминается в первом параметре пришедшего запроса (не обязательно, т.к. здесь вероятность постоянна для всего потока запросов) командой

```
ASSIGN 1,X$Probabil
```

Отказ в обслуживании управляется командой TRANSFER, которая использует значение вероятности из параметра P1 пришедшего транзакта, как

```
TRANSFER P1,Label1,Label2
```

Количество отказов в системе фиксируется с использованием сохраняемой величины OtkazCount, которая первоначально инициализируется нулем

```
initial X$OtkazCount,0 ,
```

а затем наращивается как

```
Label2 savevalue OtkazCount+1 .
```

В модели фиксируется стандартная статистика ожидания (по "очереди", именуемой StanokWait, и определенной соответствующей парой контрольных точек)

```
Label1 queue StanokWait ,  
depart StanokWait .
```

Время ожидания конкретной заявки можно вычислить, используя параметры заявки P1, P2, как значение переменной Waiting, описанной в модели как

```
Waiting variable P2-P1 .
```

Здесь параметр P1 должен содержать время начала ожидания, а параметр P2 время окончания ожидания. Указанные значения можно зафиксировать разными способами. Например, можно запомнить текущее время моделирования командами

```
mark 1 и mark 2.
```

Или сделать это явно как

```
assign 1,AC1 и assign 2,AC1.
```

В модели требуется помимо обычной статистики также зафиксировать статистические данные для построения гистограммы распределения времени ожидания обслуживания на станке ω (частотную таблицу GPSS).

В примере указанное реализовано двумя способами:

- с использованием специализированных средств сбора статистики очередей (фиксируемых точками – операторами queue-depart), включая получение частотных таблиц. Для этого в модели необходимо использовать команды queue X, depart X и описать структуру частотной таблицы QTABLE X,..., которая заполняется, обновляется автоматически каждый раз, когда через контрольные точки проходит очередной запрос;

- с использованием средств построения произвольных (для указанной величины A) частотных таблиц. Это команда описания структуры частотной таблицы ИмяЧастотнойТаблицы TABLE A,..., которая заполняется, обновляется автоматически каждый раз, когда запрос проходит через блок TABULATE ИмяЧастотнойТаблицы.

Здесь выполнение команды tabulate WaitTime1 приводит для каждой вновь пришедшей заявки к выполнению следующих действий.

1. Инициация добавления очередного значения к значениям таблицы WaitTime1. Добавляется новое значение V\$Waiting переменной Waiting.

2. Указанное вызывает перерасчет значения переменной Waiting как P2-P1 в соответствии с описанием переменной – Waiting variable P2-P1.

3. Добавление (фиксация) рассчитанного значения V\$Waiting в таблицу WaitTime1.

Формат таблицы

```
WaitTime1 TABLE V$Waiting,0.3,0.3,10 ,
```

определяемый ее параметрами B = 0.3, C = 0.3, D = 10, представлен ниже

Таблица 53 – Формат частотной таблицы.

1	2	3	...	9	10
-∞; 0,3	0,3; 0,6	0,6; 0,9	...	2,4; 2,7	2,7; ∞
Число1	Число2	Число3	...	Число9	Число10

Здесь:

- D = 10 число столбцов (число частотных интервалов);
- B = 0.3 правая граница левого интервала (интервала № 1);
- C = 0.3 ширина каждого из остальных частотных интервалов;
- ЧислоN означает количество значений переменной Waiting, попавших в интервал № N.

Ниже представлена таблица, полученная для рассматриваемой системы. А также значения всех сохраняемых величин.

Аналогичная таблица ведется и заполняется – перечисленные выше действия реализуются автоматически – только для характеристики времени ожидания ω. В рассматриваемой модели заполняется таблица, описанная ниже как

WaitTime QTABLE StanokWait,0.3,0.3,10

Здесь первый параметр StanokWait указывает на соответствующую очередь, задаваемую в модели контрольными точками

queue StanokWait
depart StanokWait

Далее на базе частотных таблиц могут быть построены соответствующие графики, отображающие законы распределения контролируемых величин.

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
STANOK	70000	0.700	3.000	1	100001	0	0	0	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
STANOKWAIT	5	1	70000	35312	0.227	0.975	1.968	0

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUR.A
WAITTIME	0.975	1.550	-	0		
			0.300 -	0.300	38767	55.38
			0.300 -	0.600	3371	60.20
			0.600 -	0.900	3526	65.24
			0.900 -	1.200	3497	70.23
			1.200 -	1.500	3198	74.80
			1.500 -	1.800	2845	78.86
			1.800 -	2.100	2525	82.47
			2.100 -	2.400	2130	85.51
			2.400 -	2.700	1797	88.08
			2.700 -	-	8343	100.00
WAITTIME1	0.975	1.550	-	0		
			0.300 -	0.300	38767	55.38
			0.300 -	0.600	3371	60.20
			0.600 -	0.900	3526	65.24
			0.900 -	1.200	3497	70.23
			1.200 -	1.500	3198	74.80
			1.500 -	1.800	2845	78.86
			1.800 -	2.100	2525	82.47
			2.100 -	2.400	2130	85.51
			2.400 -	2.700	1797	88.08
			2.700 -	-	8343	100.00

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
ARRIVALTIME	0	3.000
PROBABIL	0	0.300
OTKAZCOUNT	0	30001.000

Рисунок 80 – Отчет GPSS

ПРИЛОЖЕНИЕ 11. ПОСТРОЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ТАБЛИЦ И ГИСТОГРАММ в GPSS WORLD

В отчете моделирования кроме точечных оценок можно получить частотные таблицы [2-5] (характеризующие вероятностное распределение анализируемой случайной величины и служащие основой для отображения законов распределений в графической форме).

В примере ниже частотная таблица строится для контрольных точек, задаваемых парой команд queue w_b_2 и depart w_b_2. По ним фиксируется статистика очереди заявок на входе в узел (одноканальное устройство) b_2, в т.ч. длительность ожидания в очереди.

Сбор данных и построение таблицы выполняется оператором QTABLE:

```
WaitTime_b2 QTABLE w_b_2,2,8,20.
```

Здесь WaitTime_b2 – имя таблицы, 1-й операнд w_b_2 задает очередь, для которой строится таблица, 2-й операнд 2 задает правую границу первого интервала таблицы, 3-й операнд 8 задает длину каждого интервала таблицы, 4-й операнд 20 задает число интервалов таблицы.

```
WaitTime_b2 QTABLE w_b_2,2,8,20
```

```
*****
GENERATE (Exponential(1,0,20))
queue U_system
queue w_b_1
queue u_b_1
SEIZE b_1
depart w_b_1
ADVANCE (Exponential(2,0,4))
RELEASE b_1
depart u_b_1
queue u_sum_b_2
Label_1 queue w_b_2
queue u_b_2
SEIZE b_2
depart w_b_2
ADVANCE (Exponential(3,0,6))
RELEASE b_2
depart u_b_2
TRANSFER .5,,Label_1
depart u_sum_b_2
depart U_system
TERMINATE 1
```

Частотная таблица и соответствующий график представлены на рисунках 81 и 82.

Частотная таблица и соответствующий график для оператора

```
WaitTime_b2 QTABLE w_b_2,2,2,10
```

представлены на рисунках 83 и 84.

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY FREQUENCY	CUM.%
WAITTIME_B2	8.904	13.672	0	0	
			2.000	95519	47.73
	2.000 -	10.000		43653	69.55
	10.000 -	18.000		25391	82.24
	18.000 -	26.000		14714	89.59
	26.000 -	34.000		8638	93.90
	34.000 -	42.000		5067	96.44
	42.000 -	50.000		2990	97.88
	50.000 -	58.000		1731	98.75
	58.000 -	66.000		1039	99.26
	66.000 -	74.000		616	99.57
	74.000 -	82.000		339	99.74
	82.000 -	90.000		200	99.84
	90.000 -	98.000		145	99.91
	98.000 -	106.000		64	99.95
	106.000 -	114.000		42	99.97
	114.000 -	122.000		35	99.98
	122.000 -	130.000		14	99.99
	130.000 -	138.000		14	100.00
	138.000 -	146.000		2	100.00
	146.000 -			1	100.00

Рисунок 81 – Частотная таблица GPSS

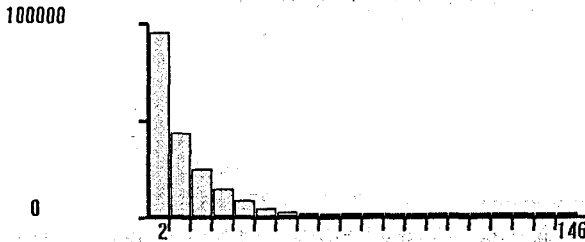


Рисунок 82 – График частотной таблицы GPSS

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY FREQUENCY	CUM.%
WAITTIME_B2	8.904	13.672	0	0	
			2.000	95519	47.73
	2.000 -	4.000		13148	54.30
	4.000 -	6.000		11438	60.02
	6.000 -	8.000		10140	65.09
	8.000 -	10.000		8927	69.55
	10.000 -	12.000		7589	73.34
	12.000 -	14.000		6675	76.67
	14.000 -	16.000		5855	79.60
	16.000 -	18.000		5272	82.24
	18.000 -			35550	100.00

Рисунок 83 – Частотная таблица GPSS



Рисунок 84 – График частотной таблицы GPSS

Построение графиков выполняется после завершения моделирования с использованием последовательности указанных ниже команд.

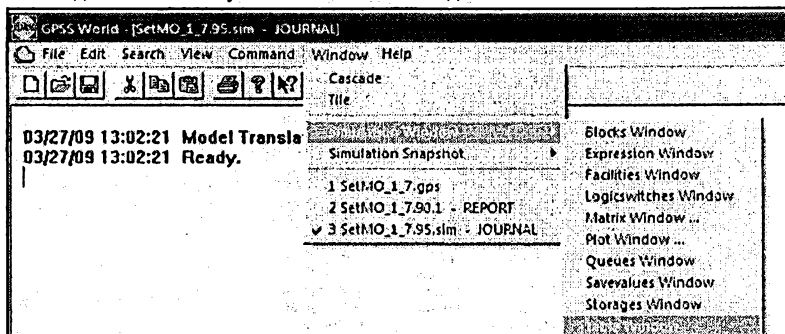


Рисунок 85 – Последовательность команд

ПРИЛОЖЕНИЕ 12. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Требуется разработать модели заданной системы, исследовать модели и систему. Тип моделей – Q-схема. Способы расчета – имитационный (в среде GPSS World на языке GPSS) и аналитический.

ВАРИАНТ № 1. Система состоит из устройств S1-S3, памяти S5. Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S4).

Число типов потоков запросов Q – 2 (30% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – произвольный и экспоненциальный. Законы обслуживания 1 и 2 типов соответственно – Эрланга (4) и экспоненциальный.

Потребность в памяти S5 запросов 1 и 2 типа определяется равномерным распределением. Запрос помещается в памяти по приходу в систему и только затем направляется на обработку в S1. Освобождается память при выходе из системы.

При этом для запросов 2 типа при нехватке памяти делается попытка разместить запрос в дополнительной памяти S6. При нехватке памяти – отказ в обслуживании. Параметры использования дополнительной памяти аналогичные.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4
S0		x	y	z	
S1					1
S2					1
S3				0,9	0,1
S4					1

Здесь вероятности x, y, z не известны и определяются следующими условиями. Запрос попадает в канал S1, если текущая длина очереди к S1 не превышает заданной. Иначе запрос пытается захватить канал S2. Запрос попадает в канал S2, если он свободен. Иначе запрос отправляется в канал S3.

ВАРИАНТ № 2. Система состоит из устройств S1-S4, памяти S6 и S7. Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (40% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – треугольный и произвольный. Законы обслуживания 1 и 2 типов соответственно – равномерный и Эрланга (2).

Потребность в памяти S6 запросов 1 типа: 1 запрос – 1 место. Запрос помещается в памяти по приходу в систему и только затем направляется на обработку в S1. Освобождается память при выходе из системы.

Потребность в памяти S7 запросов 2 типа определяется треугольным дискретным распределением. Запрос помещается в памяти по приходу в систему и только затем направляется на обработку в S1. Освобождается память при выходе из системы.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		x	y	z		
S1						1
S2						1
S3				0,45	0,55	
S4				0,55		0,45
S5						1

Здесь вероятности x, y, z не известны и определяются следующими условиями. Запрос попадает в канал S1, если он свободен. Иначе запрос пытается захватить канал S2. Запрос попадает в канал S2, если текущая длина очереди к нему не превышает заданной. Иначе запрос отправляется в канал S3.

ВАРИАНТ № 3. Система состоит из устройств S1-S4. Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (70% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга(2) и треугольный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – произвольный и равномерный.

При занятости всех каналов узла S1 запрос уходит сразу на узел S2.

Накопитель к устройству S4 для запросов 2 типа ограничен. Освобождается после начала обработки в канале S4. Характер распределения емкости накопителя: 1 запрос – 1-х мест.

Общее число запросов в системе ограничено.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		1				
S1			1			
S2			0,5	0,2	0,3	
S3						1
S4						1
S5						1

ВАРИАНТ № 4. Система состоит из устройств S1-S4. Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (50% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – треугольный и равномерный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга (2) и Эрланга (4).

На устройстве S2 учитываются абсолютные приоритеты запросов (приоритеты запросов 2 потока выше чем у 1), в остальных узлах обслуживание беспriorитетное.

При занятости каналов узла S1 запросы 1 типа теряются.

Длительности обслуживания в S3, S4 пропорциональны размеру (длине L) запроса как $2 \cdot L + 2$. Длина распределяется по треугольному закону в пределах 1-11 единиц.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		1				
S1			1			
S2			0,45	0,25	0,3	
S3						1
S4						1
S5						1

ВАРИАНТ № 5. Система состоит из устройств S1-S4. Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (40% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов – равномерные. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – треугольный (на устройствах S1-S2) и Эрланга (2) (на устройствах S3-S4).

К устройствам S3, S4 есть общий ограниченный накопитель. Освобождается сразу после начала обслуживания в канале S3 или после завершения обслуживания в S4. Характер распределения емкости накопителя для запросов 1 и 2 типа описывается равномерными распределениями соответственно (от 1 до x единиц) и (от 1 до y единиц).

При нехватке памяти запросы 1 типа направляются в S4.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		1				
S1			1			
S2			0,45	0,25	0,3	
S3		0,45				0,55
S4						1
S5						1

ВАРИАНТ № 6. Система состоит из устройств S1-S4. Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (30% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – экспоненциальный и треугольный. Законы обслуживания запро-

сов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга (4) (на устройствах S1-S2) и треугольный (на устройствах S3-S4).

Накопитель к устройствам S3-4 общий – ограничен. Освобождается сразу после завершения обработки в S3 или S4. Потребность в памяти запросов 1 и 2 типа описывается разными дискретными произвольными законами (от 1 до x единиц).

Для запросов 1 типа при поступлении в S1 выделяется место в памяти S6. Освобождается память при начале обслуживания в S1. Потребность в памяти описывается равномерным законом (от 1 до y единиц). Каждый раз при повторных входах в S1 память вместо ранее использованной емкости выделяется в размере 0,5 от емкости, использованной первоначально (но не менее единицы памяти).

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		1				
S1		0,5	0,4			0,1
S2				0,45	0,55	
S3		1				
S4			1			
S5						1

ВАРИАНТ № 7. Система состоит из устройств S1-S5. Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S6).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (60% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – регулярный и равномерный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – треугольный и Эрланга (4).

Для запросов 1 типа накопитель к устройству S1 ограничен. Занимается при каждой попытке обслуживания в S1. Освобождается сразу после ухода из S1. Характер распределения емкости накопителя: 1 запрос – 1 место при первом посещении и вероятностный – по произвольному закону (1 запрос – от 1 до 4 мест). При заполнении накопителя запросы теряются.

Для запросов 2 типа накопитель к устройству S3 ограничен. Занимается при каждой попытке обслуживания в S3. Освобождается сразу после начала обслуживания в S3. Характер распределения емкости накопителя: 1 запрос – 1 место.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S0		1					
S1			0,25	0,75			
S2					1		
S3		0,22				0,78	
S4							1
S5							1
S6							1

ВАРИАНТ № 8. Система состоит из устройств S1-S4. Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (30% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – произвольный и экспоненциальный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – равномерный и треугольный.

При поступлении в систему запросы 1 типа попадают в память S_6 или, при наличии очереди, в память S_7 . Освобождается память после выхода из системы. Запросы 2 типа размещаются только в памяти S_6 , а при нехватке места не обслуживаются. Характер распределения емкости памяти вероятностный: по равномерному закону (для 1 потока на 1 запрос – 1-х мест; для второго на 1 запрос – 1-у мест).

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		0,45	0,55			
S1		0,55		0,45		
S2				1		
S3				0,5	0,5	
S4						1
S5						1

ВАРИАНТ № 9. Система состоит из устройств S_1 - S_4 . Внешняя среда представлена источником запросов (узел S_0), приемником обслуженных запросов (узел S_5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (60% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга(2) и произвольный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – экспоненциальный и равномерный.

При поступлении в систему запросы 1 потока попадают в память S_6 . Освобождается перед входом в S_4 . Характер распределения емкости памяти вероятностный: по треугольному закону. При нехватке памяти запросы сразу направляются в узел S_4 .

Для запросов 2 типа их общее число в системе ограничено. Лишние запросы не обслуживаются.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		0,43	0,57			
S1		0,12		0,88		
S2				1		
S3				0,2	0,8	
S4						1
S5						1

ВАРИАНТ № 10. Система состоит из устройств S_1 - S_4 . Внешняя среда представлена источником запросов (узел S_0), приемником обслуженных запросов (узел S_5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (60% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – экспоненциальный и регулярный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – треугольный и Эрланга (2).

Для запросов 1 типа накопитель к устройству S1 ограничен. Освобождается после завершения обработки в S1. Характер распределения емкости накопителя: 1 запрос – 1 место.

Для всех запросов накопитель к устройству S2 ограничен. Освобождается сразу после начала обслуживания в канале S2. Характер распределения емкости накопителя вероятностный: по произвольному дискретному закону (от 1 до 4 мест).

Общее число запросов в системе не должно превышать заданного. Лишние запросы не обслуживаются.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		0,45	0,55			
S1		0,22	0,2	0,58		
S2					1	
S3					0,6	0,4
S4						1
S5						1

ВАРИАНТ № 11. Система состоит из устройств S1, S3, S4, памяти S2 (фаза выделения памяти – S2,1, фаза освобождения памяти – S2,2, S2,3).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S7).

Число типов потоков запросов Q – 2 (50% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Закон поступления запросов – Эрланга (2) и треугольный. Законы обслуживания 1 и 2 типов соответственно – равномерный и регулярный.

Приоритеты запросов 1 потока выше чем у 2 потока – на устройстве S3 учитываются как абсолютные приоритеты, в остальных узлах – как относительные.

Характер распределения емкости памяти вероятностный – по треугольному закону.

Для запросов 2 типа при повторных попытках занятия памяти при ее нехватке производится отказ в обслуживании.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2,1	S3	S4	S2,2	S2,3	S7
S0		1						
S1			1					
S2,1				1				
S3					0,35	0,65		
S4							1	
S2,2								1
S2,3			1					
S7								1

ВАРИАНТ № 12. Система состоит из устройств S1, S3, S4, памяти S2 (фаза выделения памяти – S2,1, фаза освобождения памяти – S2,2, S2,3).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S7).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (60% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Закон поступления запросов – Эрланга(4) и экспоненциальный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – треугольный и Эрланга(2).

Характер распределения емкости памяти одинаковый для потоков и вероятностный: распределение произвольное (от 1 до 4 единиц). При нехватке памяти запросы 1 типа сразу поступают в S3, запросы 2 типа не обслуживаются. При захвате памяти запросы 2 типа обладают более высоким приоритетом.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2,1	S3	S4	S2,2	S2,3	S7
S0		1						
S1			1					
S2,1				1				
S3				0,52	0,38	0,1		
S4							1	
S2,2								1
S2,3		1						
S7								1

ВАРИАНТ № 13. Система состоит из устройств S1-S5. Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S6).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (50% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – равномерные и треугольные. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга (2) и Эрланга (3).

Для запросов 1 типа накопитель к устройству S1 ограничен. Занимается при входе запроса в систему. Освобождается после начала обработки в канале S1. Характер распределения емкости накопителя вероятностный: по произвольному закону (от 1 до x мест).

Для запросов 2 типа накопитель к устройству S3 ограничен. Освобождается после завершения обработки в канале S3. Характер распределения емкости накопителя вероятностный: по равномерному закону для 1 (от 1 до y мест). Нехватка емкости приводит к отказу в обслуживании.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S0		1					
S1			0,33	0,67			
S2			0,45			0,55	
S3					1		
S4						1	
S5							1
S6							1

ВАРИАНТ № 14: Система состоит из устройств S1-S5. Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S6).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (80% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – произвольный и Гамма-распределение. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга(4) и равномерный.

Для 1 потока накопитель к устройству S1 ограничен. Занимается при входе запроса в систему. Освобождается после завершения обработки. Характер распределения емкости накопителя при первом вхождении вероятностный: по треугольному закону. При каждом повторном вхождении требуемая емкость увеличивается на 10%. При нехватке памяти – отказ в обслуживании.

Для 2 потока общий накопитель к устройствам S2-3 ограничен. Освобождается при начале обслуживания в S2 или при завершении обслуживания в S3. Характер распределения емкости накопителя: 1 запрос – 1 единица. При нехватке памяти – отказ в обслуживании.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S0		1					
S1			0,52	0,48			
S2		0,49				0,51	
S3					0,11	0,89	
S4		1					
S5							1
S6							1

ВАРИАНТ № 15. Система состоит из устройств S1-S4.

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (60% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – регулярный и произвольный случайный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – треугольный и Эрланга(4).

При появлении запроса в системе ему выделяется место в памяти S6. Освобождается память по завершении обслуживания в системе. Потребность в памяти запросов 1 и 2 типа описывается разными равномерными законами. При нехватке памяти для запросов 1 типа происходит отказ в обслуживании.

Приоритеты запросов 2 потока выше, чем у 1 потока – на устройствах S1-2 они учитываются как абсолютные приоритеты, в остальных узлах – как относительные.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		1				
S1			0,33	0,57		0,1
S2		1				
S3					1	
S4		1				
S5						1

ВАРИАНТ № 16. Система состоит из устройств S1-S4.

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов Q – 2 (50% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – Гамма и равномерный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – произвольный дискретный и треугольный.

Накопитель к устройству S3 ограничен. Занимается при входе в S3. Освобождение накопителя после завершения обслуживания в канале S3. Характер распределения емкости накопителя – равномерный для первого потока (1 запрос – 1-х мест). Каждой заявке 2 потока требуется ровно 2 места. При заполнении накопителя запросы первого типа теряются.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		1				
S1			1			
S2		0,05	0,1	0,4	0,45	
S3						1
S4						1
S5						1

ВАРИАНТ № 17. Система состоит из устройств S1-S5.

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S6).

Число типов потоков запросов Q – 2 (45% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга (2) и экспоненциальный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – произвольные непрерывные.

Накопитель к устройству S3 ограничен. Освобождается после завершения обработки в канале S5. Характер распределения емкости накопителя вероятностный: по одному равномерному закону для 1 и 2 потока (1 запрос – 1-х мест). При заполнении накопителя запросы теряются.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S0		1					
S1			0,5	0,5			
S2			0,3			0,7	
S3					1		
S4						1	
S5							1
S6							1

ВАРИАНТ № 18. Система состоит из устройств S1-S5.

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S6).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (50% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – треугольный и Гамма. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – экспоненциальный и треугольный, кроме устройства S3, где закон постоянный.

Накопитель к устройству S1 ограничен. Для заявок 1 потока занимается при 1-м входе запроса в систему и освобождается сразу после начала обслуживания в канале S4 или S5. При заполнении накопителя запросы теряются.

Для заявок 2 потока занимается при 1-м входе запроса в систему и освобождается после завершения обслуживания в системе. При заполнении накопителя запросы теряются.

Характер распределения емкости накопителя равномерный: 1 запрос – от 1 до x мест.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S0		1					
S1			0,45	0,55			
S2					1		
S3		0,6				0,4	
S4							1
S5							1
S6							1

ВАРИАНТ № 19. Система состоит из устройств S1-S4.

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (30% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – произвольный дискретный и экспоненциальный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – постоянный и треугольный.

Накопитель к устройству S2 ограничен. Занимается при 1-м входе запроса в S2. Освобождается после полного завершения обработки в канале S2. Характер распределения емкости накопителя вероятностный: по равномерному закону для 1 (1 запрос – 1-4 мест) и по треугольному закону для 2 потока (1 запрос – 1-3 места). При заполнении накопителя запросы 1 типа теряются.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		1				
S1			1			
S2			0,4	0,3	0,3	
S3						1
S4						1
S5						1

ВАРИАНТ № 20. Система состоит из устройств S1-S4.

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (30% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – треугольный и экспоненциальный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга (2) и Эрланга (4).

Накопитель к устройству S3 ограничен. Занимается при каждом входе запроса в устройство. Освобождается для 1 потока после завершения обработки в S3, а для 2 потока после завершения обработки в системе. Характер распределения емкости накопителя вероятностный: по равномерному закону для 1 потока (1 запрос – 1-х мест) и по треугольному закону для второго (1 запрос – 1-у мест).

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		1				
S1		0,3	0,4	0,3		
S2					1	
S3		0,9				0,1
S4						1
S5						1

ВАРИАНТ № 21. Система состоит из устройств S1-S4.

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (40% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – треугольный и Эрланга (2 порядка). Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – экспоненциальный и произвольный непрерывный.

При поступлении в систему запросы 2 типа попадают в память S6. Освобождается после завершения обслуживания в системе. Характер распределения емкости памяти вероятностный: по произвольному дискретному закону (на 1 запрос – 1-х мест). При заполнении памяти – отказ в обслуживании.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		0,4	0,6			
S1		0,35		0,65		
S2				1		
S3				0,45	0,55	
S4						1
S5						1

ВАРИАНТ № 22. Система состоит из устройств S1-S4.

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5). Число типов потоков запросов $Q = 2$ (35% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – произвольный и Эрланга(2). Законы обслуживания запросов 1 типа – равномерные; 2 типа – в узлах S1,S2 – равномерные, в узлах S3,S4 – постоянные.

Накопитель к устройству S4 ограничен. Освобождается после завершения обработки в S4. Характер распределения емкости накопителя: 1 запрос – 1 место. При заполнении накопителя запросы 1 типа теряются. Накопитель к устройству S3 ограничен. Освобождается сразу после начала обслуживания в канале S3. Характер распределения емкости накопителя вероятностный: по равномерному дискретному закону. При заполнении накопителя запросы 2 типа теряются. Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
S0		0,3	0,4	0,3		
S1		0,45			0,55	
S2					1	
S3						1
S4						1
S5						1

ВАРИАНТ № 23. Система состоит из устройств S1, S3, S4, памяти S2 (фаза выделения памяти – S2,1, фаза освобождения памяти – S2,2).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S6). Число типов потоков запросов Q – 2 (50% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – произвольный и равномерный. Законы обслуживания запросов 1 типа – в узлах S1, S3 – равномерные, в узлах S4 – постоянные; 2 типа – Эрланга(2). Память выделяется в зависимости от длины заявки. Закон распределения длины – равномерный. При размещении в памяти заявки 2 типа пользуются приоритетом. Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2,1	S3	S4	S2,2	S6
S0		1					
S1			1				
S2,1				1			
S3					0,35	0,65	
S4				1			
S2,2							1
S6							1

ВАРИАНТ № 24. Система состоит из устройств S1, S3, S4, памяти S2 (фаза выделения памяти – S2,1, фаза освобождения памяти – S2,2, S2,3).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S7). Число типов потоков запросов Q – 2 (30% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – экспоненциальный и равномерный, законы обслуживания – произвольный и Эрланга(4). Характер распределения емкости памяти: для заявок 1 типа – на 1 запрос – 1 место. При заполнении накопителя запросы 1 типа теряются. Для заявок 2 типа: по равномерному дискретному закону. Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2,1	S3	S4	S2,2	S2,3	S7
S0		1						
S1			1					
S2,1				1				
S3					0,5	0,5		
S4							1	
S2,2								1
S2,3			1					
S7								1

ВАРИАНТ № 25. Система состоит из устройств S2-S4, памяти S1 (фаза выделения памяти – S1,1, фаза освобождения памяти – S1,2).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S6). Число типов потоков запросов Q – 2 (35% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Закон поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – равномерный и Гамма; законы обслуживания заявок 1 и 2 типов соответственно – равномерные и экспоненциальные.

Накопитель к устройству S3 ограничен. Освобождается сразу после начала обслуживания в канале S3. Характер распределения емкости накопителя вероятностный: по равномерному дискретному закону. При заполнении накопителя запросы 1 типа теряются. Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1,1	S2	S3	S4	S1,2	S6
S0		1					
S1,1			1				
S2				0,35	0,5	0,15	
S3			1				
S4			1				
S1,2							1
S6							1

ВАРИАНТ № 26. Система состоит из устройств S2-S4, памяти S1 (фаза выделения памяти – S1,1, фаза освобождения памяти – S1,2).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5). Число типов потоков запросов Q – 2 (60% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – экспоненциальный и Эрланга(4). Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – постоянный и треугольный. Потребность в памяти описывается равномерным законом (от 1 до 6 единиц). Заявки 1 типа пользуются приоритетом. При нехватке памяти заявки теряются. Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1,1	S2	S3	S4	S1,2	S5
S0		1					
S1,1			1				
S2			0,45	0,3	0,25		
S3					1		

S4						1		
S1,2								1
S5								1

ВАРИАНТ № 27. Система состоит из устройств S2-S4, памяти S1 (фаза выделения памяти – S1,1, фаза освобождения памяти – S1,2, S1,3).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5). Число типов потоков запросов Q – 2 (55% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов произвольные. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга(2) и Эрланга(4). Потребность в памяти запросов 2 типа – описывается произвольным законом (от 1 до x единиц), запросов 1 типа – 1 единица. При нехватке памяти заявки 2 типа не обслуживаются. При нехватке памяти заявки 1 типа размещаются в резервной памяти и далее обслуживаются по общей схеме. Освобождение резервной памяти производится по завершении обработки в системе. Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1,1	S2	S3	S4	S1,2	S1,3	S5
S0		1						
S1,1			1					
S2			0,55	0,2	0,25			
S3							1	
S1,3		1						
S4						1		
S1,2								1
S5								1

ВАРИАНТ № 28. Система состоит из устройств S2-S4, памяти S1 (фаза выделения памяти – S1,1, фаза освобождения памяти – S1,2, S1,3).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов Q – 2 (60% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга(2), Эрланга(4). Законы обслуживания 1 и 2 типов соответственно – равномерный и экспоненциальный.

Для заявок 1 типа при нехватке памяти при первом приходе запроса его обслуживание отменяется.

Память для заявок 2 типа выделяется в зависимости от длины заявки. Закон распределения длины – произвольный дискретный. При размещении в памяти заявки 2 типа пользуются приоритетом.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1,1	S2	S3	S4	S1,2	S1,3	S5
S0		1						
S1,1			1					
S2				1				
S3			0,65		0,15	0,2		

S1,3		1						
S4							1	
S1,2								1
S5								1

ВАРИАНТ № 29. Система состоит из устройств S2-S4, памяти S1 (фаза выделения памяти – S1,1, фаза освобождения памяти – S1,2).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов Q – 2 (90% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания.

Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – произвольный и треугольный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга(4) и равномерный.

Потребность в памяти запросов 1 типа – на 1 запрос 1 единица.

Потребность в памяти запросов 2 типа описывается равномерным законом (от 1 до x единиц). При нехватке памяти запросы 2 типа теряются.

Накопитель к S3 для заявок 1 типа ограничен. Освобождается при начале обслуживания в S3. При нехватке памяти запросы 1 типа теряются.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1,1	S2	S3	S4	S1,2	S5
S0		1					
S1,1			0,3	0,3	0,4		
S2			0,24	0,24	0,32	0,2	
S3			0,3	0,2	0,3	0,2	
S4			0,25	0,25	0,3	0,2	
S1,2							1
S5							1

ВАРИАНТ № 30. Система состоит из устройств S2-S4, памяти S1 (фаза выделения памяти – S1,1, фаза освобождения памяти – S1,2, S1,3).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов Q – 2 (35% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – треугольный и равномерный. Законы обслуживания 1 и 2 типов соответственно – постоянный и экспоненциальный.

Потребность в памяти запросов 1 и 2 типа описывается соответственно равномерным (от 1 до x единиц) и треугольным законами (от 2 до y единиц). При нехватке памяти запросы 1 типа теряются.

Для запросов 2 типа накопитель к S4 ограничен. Освобождается при завершении обслуживания в системе. Потребность в памяти описывается произвольным законом (от 1 до y единиц). При нехватке памяти запросы возвращаются в очередь к накопителю с потребностью 1 заявка – 1 место.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1,1	S2	S3	S4	S1,2	S1,3	S5
S0		1						
S1,1			1					
S2				1				
S3			0,65		0,15	0,2		
S1,3		1						
S4							1	
S1,2								1
S5								1

ВАРИАНТ № 31. Система состоит из устройств S2-S4, памяти S1 (фаза выделения памяти – S1,1, фаза освобождения памяти – S1,2, S1,3).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (60% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – экспоненциальный и равномерный. Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – экспоненциальный и треугольный.

Потребность в памяти запросов 1 типа при первом поступлении описывается произвольным законом (от 1 до x единиц). При каждом повторном запросе памяти требуемое количество возрастает на 10%. При превышении емкости памяти запросы не обслуживаются.

Потребность в памяти запросов 2 типа описывается равномерным законом (от 1 до x единиц).

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1,1	S2	S3	S4	S1,2	S1,3	S5
S0		1						
S1,1			1					
S2				1				
S3			0,6		0,2	0,2		
S1,3		1						
S4							1	
S1,2								1
S5								1

ВАРИАНТ № 32. Система состоит из устройств S1-S3, памяти S5 и S6.

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S4).

Число типов потоков запросов $Q = 2$ (70% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга (2) и Эрланга(4). Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – равномерный и бета-распределение.

При появлении запроса 1 типа ему выделяется место в памяти S5, а при нехватке там памяти – в дополнительной памяти S6, и далее начинается обслуживание в S1. Освобождается память по завершении обслуживания в системе. Потребность в памяти постоянна: 1 запрос – 3 единицы.

Запросы 2 типа сразу начинают обслуживание в S1 и обладают абсолютным приоритетом.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S3	S4
S0		1			
S1			1		
S2		0,75		0,35	
S3					1
S4					1

ВАРИАНТ № 33. Система состоит из устройств S1-S4, памяти S6 (фаза выделения памяти – S6,1, фаза освобождения памяти – S6,2, S6,3).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов Q – 2 (50% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга(3). Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов соответственно – треугольный и равномерный.

Потребность в памяти S6 запросов 1 типа: 1 запрос – 1 место.

Потребность в памяти S6 запросов 2 типа описывается произвольным (от 1 до x единиц) распределением. При заполнении памяти запросы 2 типа теряются.

Для запросов 1 типа накопитель к устройству S2 ограничен, характер распределения: 1 запрос – 1 место. Освобождение накопителя – после обслуживания в канале S2. При заполнении накопителя запросы теряются.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S6,1	S3	S4	S6,2	S6,3	S5
S0		1							
S1		0,4	0,6						
S2				1					
S6,1					1				
S3						1			
S4							0,15	0,85	
S6,2									1
S6,3				1					
S5									1

ВАРИАНТ № 34. Система состоит из устройств S1-S4, памяти S6 (фаза выделения памяти – S6,1, фаза освобождения памяти – S6,2).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов Q – 2 (40% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – равномерный и треугольный. Законы обслуживания 1 и 2 типов соответственно – гамма и экспоненциальный.

Потребность в памяти S6 запросов 2 типа описывается равномерным законом (от 1 до x единиц). При повторных входах в память дополнительно каждый раз выделяется 1 единица памяти. При превышении емкости запрос не обслуживается.

Потребность в памяти S6 запросов 1 типа описывается произвольным законом (от 1 до x единиц).

Накопитель к устройству S2 ограничен; характер распределения равномерный: 1 запрос – 1-3 места. Освобождение накопителя сразу при начале обслуживания в канале S2.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S6,1	S3	S4	S6,2	S5
S0		1						
S1		0,9	0,1					
S2				1				
S6,1					1			
S3						1		
S4				0,45			0,55	
S6,2								1
S5								1

ВАРИАНТ № 35. Система состоит из устройств S1-S4, памяти S6 (фаза выделения памяти – S6,1, фаза освобождения памяти – S6,2, S6,3).

Внешняя среда представлена источником запросов (узел S0), приемником обслуженных запросов (узел S5).

Число типов потоков запросов Q – 2 (30% заявок первого типа). Потоки различаются параметрами законов поступления и обслуживания. Законы поступления запросов 1 и 2 типов соответственно – Эрланга (2) и Эрланга (3). Законы обслуживания запросов 1 и 2 типов равномерные.

Потребность в памяти S6 запросов 1 и 2 типа описывается треугольными распределениями соответственно (от 1 до x единиц) и (от 2 до y единиц). При повторных входах в память вместо ранее использованной емкости каждый раз выделяется 0,5 от емкости, использованной первоначально (но не менее единицы памяти).

Накопитель к устройству S1 ограничен. Занимается при 1-м входе запроса в систему. Освобождается после начала обслуживания в S2. Характер распределения: 1 запрос – 1 место. При заполнении накопителя запросы теряются.

Порядок движения запросов в процессе обслуживания представлен матрицей переходов P (где число – вероятность выбора маршрута).

	S0	S1	S2	S6,1	S3	S4	S6,2	S6,3	S5
S0		1							
S1		0,75	0,25						
S2				1					
S6,1					1				
S3						1			
S4							0,55	0,45	
S6,2									1
S6,3				1					
S5									1

Таблица 54 – Параметры систем

№	ПОТОКИ			УСТРОЙСТВА																
	№	%	mt	№	K	mt	№	K	mt	№	K	mt	№	K	mt	№	K	mt		
1	1	30	213	1	2	67	2	1	200	3	4	7	2	1	86	3	4	7	3	
	2	70	91																	29
2	1	40	170	1	2	50	2	1	150	3	1	28	4	2	63	2	1	13	42	
	2	60	113																	33
3	1	70	89	1	2	29	2	1	14	3	2	61	4	1	36	2	1	26	83	
	2	30	207																	67
4	1	50	66	1	2	20	2	1	10	3	2	14	4	1	14	2	1	7	14	
	2	50	66																	20
5	1	40	163	1	2	50	2	1	25	3	2	75	4	1	38	2	1	36	25	
	2	60	108																	33
6	1	30	367	1	1	8	2	2	15	3	1	17	4	2	25	2	1	7	11	
	2	70	157																	4
7	1	60	500	1	2	108	2	1	292	3	1	108	4	1	300	5	2	52	450	142
	2	40	750																	
8	1	30	107	1	1	22	2	2	15	3	1	10	4	4	17	2	1	4	7	
	2	70	46																	9
9	1	60	27	1	1	28	2	2	8	3	1	5	4	2	8	2	1	2	13	
	2	40	40																	41
10	1	60	23	1	2	5	2	1	8	3	2	13	4	1	8	2	1	6	13	
	2	40	35																	8
11	1	50	26	1	2	6	3	2	4	4	1	12	4	1	12	2	1	2	12	
	2	50	26																	6
12	1	60	375	1	2	15	3	1	7	4	2	23	4	2	23	5	2	3	35	
	2	40	563																	23
13	1	50	100	1	2	16	2	1	18	3	1	20	4	1	30	5	2	10	30	28
	2	50	100																	
14	1	80	60	1	1	10	2	2	11	3	2	13	4	1	81	5	1	4	325	18
	2	20	240																	
15	1	60	217	1	2	3	2	1	15	3	1	8	4	2	10	2	1	4	15	
	2	40	325																	5
16	1	50	42	1	1	10	2	2	6	3	2	12	4	2	6	2	1	6	6	
	2	50	42																	10
17	1	45	218	1	1	67	2	2	33	3	1	111	4	2	56	5	1	55	45	44
	2	55	178																	
18	1	50	34	1	2	6	2	1	4	3	1	16	4	2	10	5	1	8	10	16
	2	50	34																	

Продолжение табл. 54

19	1 30 700 2 70 300	1 1 200 86	2 2 67 29	3 3 167 70	4 2 133 57	
20	1 30 67 2 70 29	1 2 7 3	2 1 13 6	3 1 20 8	4 4 27 11	
21	1 40 500 2 60 333	1 2 50 33	2 1 88 58	3 2 63 30	4 2 188 125	
22	1 35 97 2 65 52	1 1 12 17 9	2 1 24 34 18	3 4 18 26 12	4 1 38 54 29	
23	1 50 180 2 50 180	1 1 60 60		3 2 40 20	4 1 50 50	
24	1 30 650 2 70 279	1 2 150 64		3 2 133 56	4 1 167 71	
25	1 35 1114 2 65 600		2 2 57 31	3 2 114 52	4 2 143 77	
26	1 60 600 2 40 900		2 2 37 55	3 1 67 32	4 2 100 150	
27	1 55 67 2 45 82		2 2 4 4	3 1 7 4	4 2 9 11	
28	1 60 58 2 40 88		2 1 3 5	3 2 3 2	4 2 17 25	
29	1 90 20 2 10 180		2 2 2 20	3 2 2 0	4 2 2 20	
30	1 35 34 2 65 18		2 2 9 5	3 1 6 3	4 2 3 2	
31	1 60 217 2 40 325		2 3 62 93	3 2 30 14	4 2 10 15	
32	1 70 336 2 30 783	1 2 12 28	2 1 18 42	3 1 57 24		
33	1 50 1260 2 50 1260	1 2 140 140	2 1 80 80	3 2 40 20	4 1 40 40	
34	1 40 525 2 60 350	1 2 13 8	2 2 100 67	3 1 75 36	4 1 63 42	
35	1 30 100 2 70 43	1 2 7 3	2 1 13 6	3 1 10 4	4 2 8 4	

Здесь: % – доля запросов соответствующего типа в общем потоке запросов;
 t_i – для входного потока это среднее время между соседними запросами;
 K – количество каналов соответствующего устройства;
 t_i – для устройства это среднее время обслуживания в его канале запроса соответствующего типа.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОДЕЛИРУЕМОЙ СИСТЕМЕ.....	3
2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	4
3. ПОЯСНЕНИЯ К ИСХОДНЫМ ДАННЫМ.....	6
4. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ.....	8
4.1. Предварительное описание концептуальной модели.....	9
4.1.1. Построение исходной схемы Q-модели.....	10
4.1.2. Описание ресурсов системы и узлов Q-модели.....	10
4.1.3. Описание параметров обслуживающих узлов.....	11
4.1.4. Анализ потоков заявок и описание их параметров.....	11
4.2. Уточнение состава узлов концептуальной модели.....	13
4.2.1. Выявление дополнительных узлов и построение уточненной схемы Q-модели.....	13
4.2.2. Уточнение матрицы переходов.....	14
4.3. Уточнение концептуальной модели с учетом потоков заявок.....	15
4.3.1. Выявление дополнительных узлов и построение уточненных схем потоков Q-модели.....	15
4.3.2. Построение матриц переходов запросов.....	15
4.3.3. Описание параметров потоков запросов.....	16
4.3.4. Описание параметров узлов.....	17
4.3.5. Описание узловых и системных характеристик.....	19
5. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.....	19
6. РАЗРАБОТКА GPSS-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ.....	22
6.1. Построение GPSS-ориентированной ССМ.....	22
6.2. Организация сбора статистики.....	25
7. РАЗРАБОТКА, РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ УПРОЩЕННЫХ МОДЕЛЕЙ.....	26
7.1. Разработка аналитической модели.....	26
7.1.1. Построение сети массового обслуживания.....	26
7.1.2. Введение одноканальных узлов.....	27
7.1.3. Построение однородной сети массового обслуживания.....	27
7.1.4. Построение экспоненциальной сети массового обслуживания.....	29
7.1.5. Описание параметров аналитической модели.....	29
7.1.6. Описание характеристик аналитической модели.....	31
7.2. Реализация (расчет) аналитической модели.....	31
7.3. Имитационное моделирование аналитической модели.....	34
7.3.1. Реализация имитационной модели.....	34
7.3.2. Оценка зависимости точности моделирования от его длительности.....	38

7.4. Исследование эффектов упрощений модели	40
7.4.1. Эффект учета законов распределений	41
7.4.2. Эффект учета неоднородности сети	42
7.4.3. Эффект учета канальностей устройств.....	45
7.4.4. Эффект учета памятей, накопителей.....	46
7.4.5. Эффект учета управления.....	48
7.5. Исследование характеристик системы на упрощенных моделях.....	50
7.5.1. Анализ исходного состояния системы	50
7.5.2. Прогнозирование характеристик системы при росте интенсивности потока заявок.....	51
7.5.3. Прогнозирование характеристик системы в замкнутом режиме функционирования.....	53
7.5.4. Исследование эффектов модификации системы.....	58
8. РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ.....	61
8.1. Реализация имитационной модели.....	61
8.2. Исследование свойств модели.....	64
8.2.1. Анализ стационарности функционирования.....	64
8.2.2. Оценка зависимости точности моделирования от его длительности.....	65
9. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ	65
9.1. Анализ исходного состояния системы	65
9.2. Анализ характеристик системы при росте интенсивностей потоков заявок	66
9.3. Анализ характеристик системы в замкнутом режиме функционирования	70
9.4. Исследование эффектов модификации системы	70
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПРИМЕРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	72
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ГРАФ МОДЕЛЕЙ.....	82
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. СОСТАВ ОТЧЕТНЫХ ДОКУМЕНТОВ.....	83
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО КОМАНДАМ ЯЗЫКА GPSS	84
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. СТАНДАРТНАЯ СТАТИСТИКА GPSS	89
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. ХАРАКТЕРИСТИКИ СМО	90
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДЫ GPSS WORLD.....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. ФУНКЦИИ ТИПОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВЕРОЯТНОСТЕЙ GPSS.....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ 10. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ЯЗЫКА GPSS	100
ПРИЛОЖЕНИЕ 11. ПОСТРОЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ТАБЛИЦ И ГИСТОГРАММ в GPSS WORLD	104
ПРИЛОЖЕНИЕ 12. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ	106

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составители:

Муравьев Геннадий Леонидович

Савицкий Юрий Викторович,

Хвещук Владимир Иванович

Моделирование систем. Курсовое проектирование
Рекомендовано Советом университета в качестве
пособия для студентов специальности АСОИ
дневной и заочной форм обучения

Ответственный за выпуск **Муравьев Г.Л.**

Редактор

Строкач Т.В.

Компьютерный набор

и верстка:

Муравьев Г.Л., Кармаш Е.Л.

Корректор

Никитчик Е.В.

ISBN 978-985-493-170-8



9 789854 931708

Издательская лицензия № 02330/0549435 от 08.04.2009 г.

Подписано в печать 17.09.2010. Формат 60x84 1/16.

Бумага «Снегурочка». Усл. п. л. 7,44. Уч. изд. л. 8,0.

Тираж 100 экз. Заказ № 917. Отпечатано на ризографе

УО «Брестский государственный технический университет».

224017, Брест, ул. Московская, 267