

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

А.Л. Коннов, Ю.А. Ушаков

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕТЕЙ ЭВМ С НЕОДНОРОДНЫМ ТРАФИКОМ

Монография

Рекомендовано к изданию Ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет»

Оренбург
2013

УДК 004.7
ББК 32.973.202
К 64

Рецензент
профессор, доктор технических наук Н. А. Соловьев

Коннов, А. Л.
К64 Методы расчета показателей производительности сетей ЭВМ с неоднородным трафиком / А. Л. Коннов, Ю. А. Ушаков; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2013. – 139 с.

В монографии математическое моделирование рассматривается как средство системного анализа сложных систем. Изложены новые методы расчета показателей производительности сетей ЭВМ с неоднородным трафиком.

Выводы и рекомендации основываются на реальных результатах и могут быть внедрены в практике системных администраторов и специалистов в области сетевых технологий предприятий, а также в процессе подготовки специалистов высшего профессионального образования по техническим специальностям в области информационных технологий.

2402000000
К

ББК 32.973.202
УДК 004.7

© Коннов А. Л.,
Ушаков Ю. А., 2013
© ОГУ, 2013

Содержание

Введение	5
1 Краткий обзор теоретических методов решения задач анализа производительности компьютерных сетей.....	7
1.1 Использование теории сетей массового обслуживания для исследования компьютерных сетей.....	7
1.2 Расчет характеристик сетей пакетной коммутации	9
1.2.1 Определение задержки источник-адресат	10
1.2.2 Определение загрузки каналов и других устройств.....	13
1.2.3 Модели сетей с ограниченной буферной памятью в узлах коммутации	14
1.2.4 Расчеты объемов буферов и вероятностей потерь пакетов	16
1.3 Методы управления потоками в сетях пакетной коммутации	17
1.4 Методы и средства моделирования сетей.....	21
1.4.1 Вероятностный подход к исследованию ВС.....	21
1.4.2 Аналитические методы	23
1.4.3 Аппроксимационный подход к исследованию ВС.....	24
1.4.4 Имитационное моделирование.....	25
1.4.4.1 Дискретное имитационное моделирование	31
1.4.4.2 Непрерывное имитационное моделирование	32
1.4.4.3 Сетевое имитационное моделирование	33
1.4.4.4 Имитационное моделирование на основе языка системного моделирования	34
1.5 Общие сведения и особенности моделирования на GPSS.....	36
1.5.1 Генерирование заявок и случайных величин.....	38
1.5.2 Моделирование устройств	40
1.5.3 Отчеты.....	42
1.6 OPNET Modeler	43
1.7 Другие программные системы	45
1.8 Цели и задачи исследования.....	48
Выводы	50

2 Применение теории массового обслуживания к исследованию компьютерных сетей.....	51
2.1 Сети массового обслуживания и их классификация	51
2.2 Уравнения равновесия потоков на уровне интенсивностей	57
2.3 Уравнения равновесия потоков на основе математических моделей мультиплексирования и демультимплексирования потоков	60
2.4 Модификация уравнений равновесия потоков для исследования сетей с ограниченной буферной памятью	71
2.5 Модификация уравнений равновесия для исследования сетей ЭВМ с неоднородным трафиком.....	73
Выводы	76
3 Моделирование сети оренбургского филиала Центробанка РФ	77
3.1 Описание форматов электронных сообщений для подготовки отчетности кредитными организациями.....	77
3.2 Моделирование сети Оренбургского филиала Центробанка РФ	81
Выводы	98
4 Проектирование и моделирование сети кафедры вуза	100
4.1 Моделирование сети кафедры вычислительной техники ГОУ ВПО ОГУ	100
4.1.1 Методика сбора сетевого трафика.....	101
4.1.2 Расчет основных характеристик.....	106
4.2 Проектирование сети кафедры	119
4.2.1 Решения и рекомендации по улучшению временных характеристик сети кафедры	119
4.2.2 Проектирование сети кафедры при помощи NetWizard	121
4.3 Исследование корпоративных сетей	124
Выводы	125
Заключение	127
Список использованных источников	129

Введение

В современной научной литературе редко встречаются задачи анализа производительности конкретных сетей. Для этого не существует единой методики. В монографии В.М. Вишневого «Теоретические основы проектирования компьютерных сетей» академиками Велиховым Е.П. и Кузнецовым Н.А. сказано следующее. «Повсеместное внедрение компьютерных сетей должно сопровождаться опережающим развитием фундаментальной теории в этой области, созданием инженерных методов анализа и синтеза, систем автоматизации проектирования, направленных на сокращение сроков и повышение качества проектирования компьютерных сетей». Поэтому проблема разработки методов оценки показателей производительности сетей ЭВМ с неоднородным трафиком является актуальной.

Тенденцией современного этапа развития компьютерных сетей является изменение структуры передаваемого трафика. Трафик сетей крупных предприятий стал мультимедийным. Сами они характеризуются как сети с неоднородным трафиком, так как делается акцент на использование разнообразных сетевых приложений.

Возросшие стоимости проектирования и самой проектируемой системы предъявляют повышенные требования к качеству проектных решений, в особенности к точности определения пропускных способностей каналов, времени задержки пакетов, объёмов памяти буферов и др. Одним из плодотворных подходов оценки этих важнейших конструктивных показателей является вероятностное моделирование, которому посвящены монографии таких авторов, как Вишневский В.М., L. Kleinrock, Гнеденко Б.А., Цыбаков Б.С., Майоров С.А. и многих других. При таком моделировании компьютерные системы представляются в виде совокупности ресурсов, использование которых осуществляется в порядке очереди в соответствии с заданной дисциплиной.

Достоверность результатов вероятностного моделирования с использованием теории массового обслуживания, теории очередей и других методов зависит во многом от адекватности применяемых моделей реальным системам. Проектировщики и разработчики сетевого оборудования испытывают потребность в получении информации о поведении сетей различных масштабов, архитектур и топологий, о качественных характеристиках этих сетей. Соответственно необходимы средства моделирования, которые бы учитывали все особенности функционирования сетей, позволяли задавать исходную информацию в терминах величины прогнозируемого трафика и получать основные характеристики сетей.

1 Краткий обзор теоретических методов решения задач анализа производительности компьютерных сетей

1.1 Использование теории сетей массового обслуживания для исследования компьютерных сетей

Так как поступление данных имеет вероятностный характер при детерминированной их обработке в каналах связи и узлах коммутации, то модели теории массового обслуживания используются для анализа и проектирования компьютерных сетей. Исследование компьютерной сети и протоколов передачи данных с помощью простейших однофазных или двухфазных моделей массового обслуживания, позволяет получить только качественное представление о характере протекающих информационных процессов, по причине того, что не учитывает взаимодействия устройств и процессов в компьютерной сети, которое не является простым. Однако вышеописанные процессы естественно отображаются в моделях сетей массового обслуживания, которые нашли широкое применение для анализа компьютерных сетей [1].

Для анализа характеристик протоколов второго, третьего и четвертого уровней применяются модели теории сетей массового обслуживания. На канальном уровне эти модели используются для определения эффективной скорости передачи данных. При анализе сквозных протоколов, модели теории сетей массового обслуживания позволяют находить задержку сообщений источник-адресат, определять параметры управления потоками и т.д. Сетевые модели отдельных частей компьютерной сети адекватно отражают процесс обработки сообщений в этих устройствах и позволяют рассчитывать характеристики и осуществлять выбор различных параметров, таких как объем буферной памяти узлов коммутации. Необходимо также учитывать сложную структуру отдельных узлов при расчете сети передачи данных в целом. Необходимость решения задач выбора топологии и пропускных способностей

каналов связи, отыскания оптимальных маршрутов и т. д., требует применения упрощенных моделей сетей массового обслуживания, позволяющих находить явный вид целевой функции, в качестве которой используется время задержки сообщений [1]. Такой подход требует дальнейшего уточнения характеристик сети с помощью более реальных моделей, учитывающих особенности сетевых протоколов. Это приводит к итерационной процедуре проектирования компьютерных сетей.

Согласно предположению о независимости, т.е. времена передачи сообщений по каналам связи предполагаются независимыми случайными величинами [2], аналитические модели сетей массового обслуживания можно использовать для анализа сетей передачи данных. Так как длительности обслуживания сообщения в каналах передачи пропорциональны длине этого сообщения и поэтому зависимы. Так же дополнительные зависимости вносятся процессами сборки и разборки сообщений на пакеты при передаче по сети. Тем не менее, сравнения результатов аналитического моделирования с помощью сетей массового обслуживания и результатов имитационного моделирования показали, что предположение о независимости не вносит существенных погрешностей. Этот факт объясняется в основном использованием средних характеристик, которые менее чувствительны к описанной выше зависимости [1].

Устройства и процессы обычно моделируются различными центрами обслуживания при применении теории сетей МО для анализа характеристик компьютерных сетей. Процессоры узлов коммутации моделируются центрами типа FCFS, а каналы передачи данных - однолинейными или многолинейными центрами FCFS. Для моделирования терминалов и учета задержек, обусловленных временем подтверждения об успешной доставке пакета (АСК) или временем ожидания time-out, обычно используются центры типа IS.

На характеристики сети пакетной коммутации значительное влияние оказывают способы доставки пакетов и методы маршрутизации [3]. Моделирование методов маршрутизации и различных способов доставки пакетов

осуществляется путем выбора соответствующего типа сети массового обслуживания и матрицы маршрутов $P=\{p_{ij}\}$, структура которой учитывает топологию сети. Открытая или замкнутая однородная сеть массового обслуживания используется в качестве модели датаграммной сети со случайной процедурой выбора маршрутов, а для моделирования постоянных виртуальных каналов и фиксированной маршрутизации - модель сети массового обслуживания с несколькими классами сообщений [15,116]. Учет служебных сообщений может быть осуществлен либо увеличением длительности обслуживания сообщений в модели сети массового обслуживания, либо введением дополнительного приоритетного класса служебных сообщений.

Модели сетей массового обслуживания не в состоянии полностью отразить сложные и многообразные информационные процессы в компьютерных сетях и, кроме того, их использование обусловлено рядом предположений (таких, как предположение о независимости). Однако, как показывает опыт проектирования и измерений реальных сетей, они являются достаточно точным и практически единственным хорошо разработанным математическим аппаратом, позволяющим осуществлять выбор альтернативных вариантов, расчет и оптимизацию характеристик на этапе проектирования компьютерной сети [1].

1.2 Расчет характеристик сетей пакетной коммутации

Сеть коммутации пакетов состоит из множества распределенных узлов коммутации, связанных между собой каналами передачи данных. Абоненты базовой сети есть источники и потребители информации, передаваемой по сети. Основная информационная единица базовой сети - пакеты данных передаются от источника к адресату через транзитные узлы коммутации и каналы, образуя очереди в буферной памяти узлов коммутации.

Сети массового обслуживания являются адекватными моделями сетей пакетной коммутации. Основная задача моделирования состоит в анализе

характеристик базовой сети передачи данных, таких как производительность сети и средняя задержка пакетов. Также представляет интерес и расчет средней задержки между выделенной парой источник-адресат.

Протоколы передачи данных существенно влияют на характеристики сети. Для обеспечения надежности передачи информации реализуются механизмы получения подтверждения (Acknowledgement) и time-out. Копия передаваемого сетью пакета сохраняется в памяти источника до получения подтверждения АСК об успешной доставке. Отсутствие АСК в течение интервала времени time-out приводит к передаче копии из источника [4].

Получение подтверждения при передаче или так называемое квитирование может также осуществляться и между соседними узлами коммутации пакетов. При этом копия пакета сохраняется в буферной памяти передающего УК до получения АСК от соседнего узла. По истечении интервала time-out осуществляется повторная передача пакета по тому же выходному каналу или изменение маршрута.

Методы квитирования и ограниченный объем буферной памяти УК, оказывающие существенное влияние на характеристики базовой сети передачи данных, должны находить отражение в соответствующих моделях сетей массового обслуживания [1].

1.2.1 Определение задержки источник-адресат

Для построения модели сети массового обслуживания, описывающей функционирование базовой сети, которая включает M каналов передачи данных и W узлов коммутации пакетов, необходимо ввести ряд упрощающих предположений [1]. Первое из них - предположение о независимости - позволяет устранить зависимость между временами обслуживания в каналах и состоит в том, что длина пакета, поступающего в m -й канал, выбирается независимо в соответствии с плотностью распределения

$$f(x) = b \cdot \exp - bx,$$

где l/b - средняя длина пакета, измеряемая в битах (байтах).

Процесс поступления пакетов в сеть является пуассоновским с параметром λ (пакетов/с). Маршрут пакетов m -го класса (передаваемых в m -ой паре источник-адресат) определяется матрицей $P=\{p_{ij}\}$, где p_{ij} - вероятность того, что пакет m -го класса, закончивший обслуживание в i -ой СМО, поступит потом в j -ю СМО ($i,j=1,\dots,n$).

Тип маршрутизации пакета в базовой сети определяют различные способы задания матрицы $P=\{p_{ij}\}$. Например, при использовании постоянных виртуальных соединений и фиксированной маршрутизации соответствующие элементы p_{ij} принимают лишь два значения: 0 и 1. В рассматриваемой модели предполагается, что объемы буферных накопителей не ограничены и подтверждение об успешной доставке пакета передается мгновенно.

Сделанные выше предположения позволяют полностью определить разомкнутую неоднородную сеть массового обслуживания, моделирующую функционирование базовой сети передачи данных. В указанную сеть массового обслуживания поступают m классов пуассоновских потоков пакетов с интенсивностями $\lambda^{(m)}$ ($m=1,\dots, M$), маршрут каждого из которых характеризуется матрицей $P=\{p_{ij}\}$. Функция распределения длительности обслуживания пакетов m -го класса в i -й СМО сети массового обслуживания, которая моделирует соответствующий канал передачи данных, является экспоненциальной с параметром $\mu_i^{(m)} = C_i b^{(m)}$ (пакетов/с), где C_i - пропускная способность i -го канала, измеряемая в бит/с, а $l/b^{(m)}$ - средняя длина пакета m -го класса [1].

Интенсивность потока пакетов класса m , поступающих в i -ю СМО $\lambda_i^{(m)}$ удовлетворяет уравнению баланса потоков

$$\lambda_i^{(m)} = \lambda_{0i}^{(m)} + \sum_{j=1}^n p_{ji} \lambda_j^{(m)}$$

Здесь $\lambda_{0i}^{(m)}$ это интенсивность поступления от внешнего источника S_0 в сеть (на вход i -ой СМО) многомерного потока заявок.

Обозначим также через $\rho_i^{(m)}$ загрузку i -ой СМО пакетами m -го класса и $\rho_{i\Sigma}$ общую загрузку i -й СМО:

$$\rho_i^{(m)} = \frac{\lambda_i^{(m)}}{b^{(m)}C^{(m)}} \text{ и } \rho_{i\Sigma} = \sum_{m=1}^M \rho_i^{(m)}$$

Описанная выше неоднородная открытая сеть массового обслуживания удовлетворяет всем условиям теоремы ВСМР, и, следовательно, для ее расчета могут быть использованы соответствующие результаты. В частности, вероятность стационарного состояния сети $P(n)$, где $n = (n_1, \dots, n_m)$ и координаты $n_i (i = 1, M)$ означают число пакетов, ожидающих передачи и передаваемых по i -ой СМО, имеет вид [1]:

$$P(n) = \prod_{i=1}^M P_i(n_i).$$

Здесь

$$P_i(n_i) = \begin{cases} (1 - \rho_i) \rho_i^{n_i}, & \text{при дисциплине обслуживания в } i\text{-м центре FCFS, LCFS или PS} \\ e^{-\rho_i} \rho_i^{n_i} / n_i!, & \text{при дисциплине обслуживания IS.} \end{cases}$$

Из последнего выражения определим среднее количество пакетов в i -й СМО $N_i = \rho_i / (1 - \rho_i)$ и среднее число пакетов в сети в целом (предполагая, что передача пакетов по каналу осуществляется в соответствии с дисциплиной FCFS):

$$N = \sum_{i=1}^M \frac{\rho_i}{1 - \rho_i}.$$

В то же время в соответствии с формулой Литтла $N = \lambda T$, где T - среднее время пребывания пакета в сети (задержка пакета) [1].

Таким образом,

$$\lambda T = \sum_{i=1}^M \frac{\rho_i}{1 - \rho_i} \text{ и } T = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^M \frac{\lambda_i}{bC_i - \lambda_i} \quad (1.1)$$

Выражение (1.1), впервые полученное Клейнроком [2], широко используется при анализе и проектировании компьютерных сетей и имеет важное значение.

Для расчета задержки источник-адресат T , определяющей время задержки пакетов m -го класса, необходимо рассматривать более детально состояние сети

$S = n_1, n_2, \dots, n_m$ где $n = (n_i^{(1)}, \dots, n_i^{(m)})$ и $n_i^{(m)}$ означает число пакетов m -го класса в i -ой СМО $m = 1, \dots, M; i = 1, \dots, n$.

Среднее число пакетов m -го класса в i -ой СМО рассчитывается по формуле [1]:

$$N_i^{(m)} = \rho_i^{(m)} / (1 - \rho_i).$$

Использование формулы Литтла позволяет определить среднюю задержку пакетов m -го класса в i -ой СМО

$$T_i^{(m)} = N_i^{(m)} / \lambda_i^{(m)} = 1 / bC_i(1 - \rho_i).$$

Средняя задержка m -го класса в i -ой СМО зависит только от общей загрузки канала ρ_i и остается постоянной для пакетов разных классов, проходящих через этот канал.

1.2.2 Определение загрузки каналов и других устройств

Рассмотрим систему М/М/1, то есть, однолинейную СМО с ожиданием (буфером неограниченной емкости), в которую поступает простейший поток запросов интенсивности λ , а время обслуживания запросов имеет показательное распределение с параметром μ .

Зададим параметры λ_i и μ_i как $\lambda_i = \lambda, i \geq 0, \mu_i = \mu, i \geq 1$. Таким образом, величина ρ_i определяется как $\rho_i = \lambda / \mu$.

Параметр ρ , характеризующий соотношение интенсивности входящего потока и интенсивности обслуживания и называемый коэффициентом загрузки системы, имеет важную роль в теории очередей [1].

1.2.3 Модели сетей с ограниченной буферной памятью в узлах коммутации

Модель сети пакетной коммутации, описанная в разделе 1.2.1, позволяет получать простые аналитические выражения для характеристик сети и требует наличия таких предположений и ограничений, как неограниченная буферная память в узлах коммутации, отсутствие квитирования и повторной передачи не принятых в узле коммутации пакетов и т.д. Рассмотрим подход, позволяющий более полно учитывать характерные особенности реальных сетей передачи данных [1].

Рассмотрим модель сети коммутации, включающую n узлов и заданную топологию каналов связи между ними. Узел состоит из процессора, обслуживающего выходящие из узла коммутации канала передачи данных, и N_i равнодоступных буферов каждый объемом в один пакет. Это позволяет рассматривать процесс буферизации в узле коммутации на модели простейшей схемы памяти - однородного равнодоступного пула буферов. В качестве примера влияния сквозного квитирования на характеристики сети рассмотрим модель сети при датаграммном способе доставки пакетов. При этом будет исследоваться случай сквозного квитирования. Копии пакетов, ожидающие подтверждения об успешной передаче по сети, находятся в узле коммутации-источнике. Занятость буферной памяти в момент прихода в узел коммутации пакета приводит к сбросу последнего на сетевом уровне и последующему повторению его передачи из узла коммутации-источника, в отличие от повторения между соседними узлами коммутации. Память, занимаемая принятым в узел коммутации пакетом, освобождается после получения

положительного уведомления АСК о безошибочной передаче от соседнего узла.

В рассматриваемой модели используется случайная маршрутизация однородных пакетов. Пакеты поступают в сеть из внешнего источника, распределяясь по узлам с вероятностями $P=\{p_{ij}\}$.

Пакет, принятый в узел i , передается в узел j с вероятностью $P=\{p_{ij}\}$ и с вероятностью $p_{отк} = 1 - \sum_{i=1}^n p_{ij}$ этот пакет завершает обслуживание в сети.

Пакеты, получившие отказ в приеме в буферную память узла коммутации, передаются на вход сети для повторной передачи. Внешний поток в сеть из источника и потоки в i -й узел коммутации, образованные суперпозицией внешнего потока, повторениями по сети не доставленных пакетов и потоками от других узлов коммутации, считаются пуассоновскими [1]. Это допущение аналогично предположению о независимости Клейнрока для сети с неограниченной памятью в узлах.

Рассмотрим другую модель сети пакетной коммутации, в которой квитирование пакетов осуществляется только между соседними узлами коммутации. Неудачно переданный пакет повторяется из узла коммутации отправителя. Это требует сохранения копии пакета в буферной памяти передающего узла коммутации до момента получения от соседнего узла коммутации положительной квитанции АСК о приеме пакета. Отсутствие АСК в течение time-out классифицируется как потеря пакета, и передающий узел коммутации повторяет пакет по тому же самому или новому маршруту [1].

Будем рассматривать сеть, состоящую из W узлов коммутации пакетов, память которых представляет собой пул однородных буферов. Каналы связи для простоты предполагаются абсолютно надежными, так что повторение передачи пакетов между соседними узлами коммутации определяется лишь занятостью буферной памяти узла коммутации.

Будем полагать, что в сети передаются пакеты m классов, маршруты которых задаются матрицей $P=\{p_{ij}\}$ где p_{ij} - вероятность передачи пакета класса m из узла i в узел j .

Пакет класса m завершает обслуживание в сети, покидая ее из j -го узла по каналу. Пакеты поступают в сеть с интенсивностями $\lambda_{0i}^{(m)}$, тогда очевидно, что общий поток, поступающий в сеть [1],

$$\lambda_{0i}^{\Sigma} = \sum_{m=1}^M \lambda_{0i}^{(m)}$$

Как и раньше, предполагается, что потоки $\lambda_i^{(m)}$, поступающие в узел коммутации, являются пуассоновскими. Уравнение баланса потоков для узлов рассматриваемой сети имеет вид

$$\lambda_{i_{\text{вв}}} = \tau_{0i}^{-1} + \sum_{j=1}^n p_{ji} \lambda_{j_{\text{вв}}} + \sum_{j=1}^n q_{ji} \lambda_{j_{\text{оом}}}$$

где $\bar{\tau}_{0i} = 1/\lambda_{0i}$.

1.2.4 Расчеты объемов буферов и вероятностей потерь пакетов

Рассмотрим однолинейную СМО с буфером ограниченной емкости, т.е. систему M/M/1/n. Заявка из входящего потока, заставшая прибор занятым, ожидает начала обслуживания в буфере, если в нем имеется свободное место. Если же все n мест для ожидания заняты, заявка покидает систему не обслуженной (теряется) [1].

Обозначим $i_b, t \geq 0$ число запросов в системе в момент t . Этот процесс может принимать значения во множестве $\{0, 1, \dots, n\}$. Процесс $i_b, t \geq 0$ является процессом гибели и размножения и ненулевые параметры λ_i, μ_i определяются следующим образом: $\lambda_i = \lambda, 0 \leq i \leq (n-1)$, $\mu_i = \mu, 1 \leq i \leq n$. Тогда из формулы для стационарных вероятностей процесса гибели и размножения следует, что стационарные вероятности числа запросов в рассматриваемой системе имеют вид:

$$\pi_i = \rho^i \frac{1-\rho}{1-\rho^{n+1}}, 0 \leq i \leq n.$$

В системах, в которых возможна потеря запросов, одной из важнейших характеристик является вероятность p_{omk} того, что произвольный запрос будет потерян. Для рассматриваемой СМО вероятность потери произвольного запроса совпадает с вероятностью того, что в произвольный момент времени все места для ожидания заняты, то есть, справедлива формула [1]:

$$p_{omk} = p_{loss} = \rho^n \frac{1-\rho}{1-\rho^{n+1}} \quad (1.2)$$

Формула (1.2) может использоваться для планирования необходимого размера буфера в зависимости от загрузки системы и значения допустимой вероятности потери запроса в системе.

В отличие от системы М/М/1, стационарное распределение числа запросов в данной системе существует при любых конечных значениях коэффициента загрузки ρ .

1.3 Методы управления потоками в сетях пакетной коммутации

Управление потоком предназначено для регулирования загрузки основных ресурсов сети, таких как буферы узлов коммутации и каналы связи и согласования скорости передачи информации источником со скоростью приема адресатом. Управление потоком, являясь важнейшим компонентом сети пакетной коммутации, реализуется на разных уровнях протоколов. Оно может осуществляться между соседними узлами коммутации базовой сети; между узлом коммутации - источником и узлом коммутации - адресатом базовой сети; между парами, обменивающимися информацией процессов и т.д. Выполнение функций согласования скоростей и надежной передачи информации на всех уровнях протоколов базируется на механизмах квитирования и концепции окна. Указанные механизмы служат также эффективным средством борьбы с перегрузкой ресурсов сети [1,4].

Из-за отсутствия управления использованием ограниченных ресурсов сети при чрезмерном увеличении потока требований от одного или группы абонентов может возникнуть резкое увеличение времени задержки или падение производительности сети вплоть до образования полностью заблокированных участков (в которых передача данных невозможна). Причина появления заблокированных участков и падения производительности сети при перегрузках могут быть различными [4]. Ограничимся иллюстрацией этого явления на двух примерах. На рисунке 1.1а показаны два узла коммутации пакетов, связанные каналом передачи данных. Если буферная память узла *A* занята пакетами для узла *B*, а память узла *B* заполнена пакетами, предназначенными узлу *A*, то передача между ними невозможна из-за отсутствия свободных буферов и указанный участок оказывается полностью заблокированным.

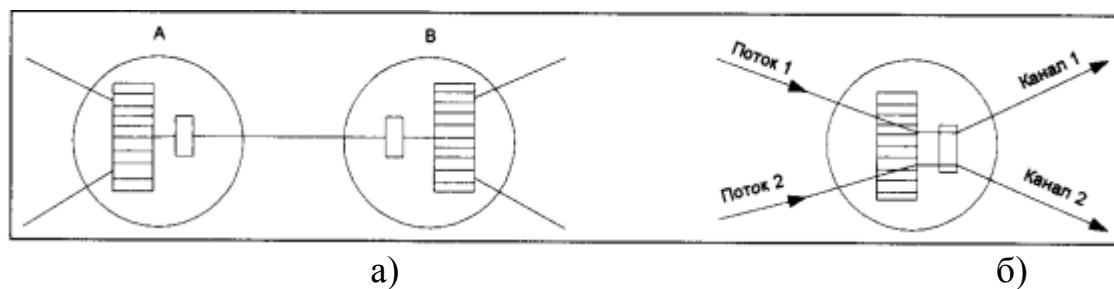


Рисунок 1.1 – Узлы коммутации

На рисунке 1.1б изображен узел коммутации, в который поступают два потока пакетов. Пакеты каждого потока передаются по своему, исходящему из узла каналу. Если все буфера узла коммутации заняты пакетами одного из потоков, например первого, то передача пакетов по второму каналу оказывается невозможной. Это снижает производительность узла коммутации и соответственно производительность сети в целом.

При перегрузке сети значительно возрастает вероятность того, что пакеты, поступающие в очередной узел коммутации, не застают в нем свободных буферов. В зависимости от используемого в сети протокола эти пакеты передаются повторно либо соседним узлом коммутации, либо узлом коммутации источником. Чем сильнее перегрузка, тем большая часть ресурсов

сети занята выполнением повторных передач и, следовательно, тем ниже производительность сети, не защищенной от перегрузки [1].

Управлением входным потоком в узлах базовой сети передачи данных достигается защита от перегрузки. При этом различают методы глобального и локального управления нагрузкой. Глобальное управление предполагает ограничение общего количества пакетов, передаваемых в базовой сети (изаритмическое управление), или ограничение числа пакетов в каждом виртуальном соединении источник-адресат или группах виртуальных соединений (межконцевое управление), либо использование комбинации этих методов (двухуровневое управление). В отличие от глобального, локальное управление не требует информации о количестве передаваемых по сети пакетов и ограничивает поток в УК на основе локальной информации, касающейся только данного узла.

Изаритмическое управление реализуется с помощью использования в сети ограниченного числа служебных пакетов, содержащих разрешения на передачу пакетов данных. Существует несколько способов получения разрешений. В первом случае пакет, поступивший в узел-адресат, освобождает принадлежащее ему разрешение и оно захватывается пакетом, ожидающим передачи. Если в узле отсутствуют пакеты, ожидающие передачи, то разрешение начинает циркулировать по сети случайным образом и захватывается в первом же узле, где имеются пакеты, ожидающие передачи. Во втором случае каждый узел содержит ограниченный пул разрешений, что позволяет уменьшить задержку пакетов из-за ожидания разрешений, циркулирующих по сети случайным образом. Возможна и комбинация этих подходов. Недостаток описанного метода глобального управления состоит в отсутствии удовлетворительной маршрутизации разрешений и трудностях практической реализации [1].

Реализация разнообразных способов межконцевого управления базируется на механизме окна, ограничивающем число пакетов в каждом виртуальном соединении. Размер окна N_i для i -го виртуального соединения

выбирается заранее и определяет число пакетов, которые могут быть переданы из узла-источника без подтверждения о правильном приеме узлом-адресатом. Счетчик числа пакетов в i -м виртуальном соединении первоначально устанавливается в состояние N_i . Каждый переданный и неподтвержденный пакет уменьшает состояние счетчика на единицу. Если состояние счетчика равно нулю, то новые пакеты в данное виртуальное соединение не допускаются (источники потока пакетов отключаются). Каждый правильно принятый в адресате пакет подтверждается индивидуально, причем прием квитанции АСК в узле-источнике увеличивает состояние счетчика на единицу. При изменении состояния счетчика с 0 на 1 источники потока пакетов вновь переводятся в активное состояние [1].

Вместе с описанным выше механизмом глобального управления в узлах сети применяют локальное управление, в соответствии с которым ограничивается либо общее число пакетов в узле коммутации, либо количество буферов, выделяемое разным классам пакетов. Принадлежность входящих в узел коммутации пакетов к разным классам определяется по числу пройденных пакетом транзитных участков, по принадлежности к виртуальным соединениям, по выходящим из узла направлениям и т. д. Ограниченная равнодоступная память узла коммутации при перегрузках может приводить к существенному падению пропускной способности узла за счет захвата памяти более интенсивными потоками отдельных классов и полной блокировки других. Локальное управление, ограничивающее число буферов, доступных «энергичным» потокам, часто называют управлением буферами. Такое управление наиболее типично для перегрузки, вызванной резким увеличением интенсивности потока пакетов в одно или несколько выходящих направлений узла [1].

Существует динамическое и статическое управление распределением буферов. Динамическое управление является наиболее общей стратегией управления буферами и состоит в принятии решения о вводе пакета в буферную память в момент его поступления в зависимости от состояния узла

коммутации. Однако широкое использование этого управления ограничено трудностями практической реализации. Частыми случаями динамического управления являются легко реализуемые на практике различные статические механизмы распределения буферов: распределение без ограничений (CS) - любому входящему сообщению предоставляется любой свободный буфер; фиксированное распределение (CP) - за каждым классом пакетов закрепляется фиксированное число буферов; распределение с ограничением максимального числа буферов для различных классов (SMXQ); распределение с гарантированным минимумом буферов, закрепленным за каждым классом пакетов (SMA); распределение, являющееся объединением двух предыдущих методов локального управления (SMQMA) [1].

1.4.Методы и средства моделирования сетей

Выбор методов, используемых при моделировании вычислительных систем (ВС), предопределяется характером процессов в ВС и целями, которые ставятся при проведении исследований. Рассмотрим некоторые из них.

1.4.1 Вероятностный подход к исследованию ВС

Процесс функционирования ВС - это процесс выполнения совокупностью устройств некоторого набора программ (алгоритмов). При моделировании ВС вычислительные процессы изучаются в основном во временном аспекте - с целью определения временных характеристик процесса функционирования систем: доли времени, в течение которого устройства простаивают, времени получения каких-то результатов, производимых соответствующей программой, производительности, определяемой числом задач, решаемых в единицу времени, и т.п. Для ВС типично наличие элемента случайности в порядке инициирования программ, реализуемых системой. Так, во-первых, запросы на выполнение программ генерируются пользователями в

случайные моменты времени; пакет программ, предназначенных для обработки, состоит из случайным образом сформированной смеси задач и т.д. Во-вторых, хотя процесс выполнения программы по своей сути детерминированный, однако практическая бесконечность числа различных вычислительных процессов, порождаемых программой в зависимости от исходных данных, не позволяет выявить представляющие интерес свойства вычислительных процессов при исследовании их с позиций детерминизма.

Многочисленность вариантов выполнения программы является фактором, предопределяющим необходимость исследования вычислительного процесса как процесса случайного [5]. Такой подход правомочен тогда, когда свойства изучаемого объекта проявляются на множестве процессов, например на множестве реализации программы или совокупности программ. Таким образом, случайный характер инициирования программ, практическая непредсказуемость данных, обрабатываемых программой, и связанная с этим случайность моментов времени, в которые начинает выполняться и заканчивается программа, приводят к необходимости рассматривать процесс функционирования ВС как случайный процесс и изучать свойства ВС с позиций теории вероятностей. В связи с этим алгоритмы, несмотря на присущую им определенность, интерпретируются как генераторы случайных процессов, порождающие в случайные моменты времени запросы на передачу и обработку информации, и фактор случайности включается в модели алгоритмов.

Итак, функционирование ВС можно рассматривать как композицию трех классов в общем случае недетерминированных процессов:

- на входе ВС, порождающих заявки на выполнение определенных алгоритмов (программ);
- выполнения программ, порождающих заявки на передачу и обработку информации;
- обслуживания заявок устройствами, обеспечивающими передачу и обработку информации.

Большинство моделей ВС строится на основе моделей массового обслуживания. В теории массового обслуживания изучаются процессы, являющиеся в основном марковскими либо некоторым образом связанные с марковскими процессами. Поэтому для решения задач теории массового обслуживания используется аппарат теории марковских процессов [2,25,53,65].

1.4.2 Аналитические методы

Аналитические методы состоят в преобразовании символьной информации, записанной на языке математического анализа. При использовании аналитических методов строится математическая модель объекта, представляющая свойства объекта в виде математических объектов и отношений, например в виде дифференциальных или интегральных уравнений. Математическая модель строится на основе понятий, символики и методов некоторой теории, например теории массового обслуживания, определяющей класс математических аналогий, т.е. основополагающих математических моделей.

При аналитическом подходе требуемые зависимости выводятся из математической модели последовательным применением математических правил. Препятствием при этом может быть неразрешимость уравнений в аналитической форме, отсутствие первообразных для подынтегральных функций и т.п., с чем приходится сталкиваться весьма часто. Поэтому при определенных свойствах модели можно получить решение в явной аналитической форме. Когда решение уравнений, составляющих модель, получено математическими методами, мы говорим, что использован аналитический метод и сконструирована математическая модель. В случае когда невозможно или затруднительно получить в общем виде явные зависимости для искомых величин, применяют средства вычислительной техники, чтобы получить числовые результаты при конкретных начальных

данных. Несмотря на ограниченные возможности аналитического подхода, решения, полученные в явной аналитической форме, имеют большую познавательную ценность и находят результативное применение при решении широкого класса теоретических и прикладных задач [6,113].

1.4.3 Аппроксимационный подход к исследованию ВС

В работах [2,6] отмечено, что реальные распределения не допускают аппроксимации их экспоненциальным распределением. Неоднородность реальных потоков случайных событий в экспоненциальных сетевых моделях также не может быть учтена. Так как эти два фактора не учитываются алгебраическими методами при решении задачи анализа производительности компьютерных систем, в результаты моделирования может вноситься существенная погрешность. Это и послужило основанием для появления аппроксимационных методов. Одним из которых является метод декомпозиции. Он может быть применен к разомкнутым и замкнутым моделям. Суть метода состоит в том, чтобы отдельно рассматривать некоторую подсеть, а затем полученные результаты использовать для анализа всей сети в целом [41].

Как показывает анализ методов математического моделирования сложных систем и компьютерных сетей, функционирование которых можно описывать стохастическими сетевыми моделями, при произвольных законах распределения входного потока и времен обслуживания, не существует точных методов их расчета. Известные приближенные модели из-за неполной их адекватности имеют большую погрешность, и тем самым не позволяют анализировать режимы малой и средней загрузки сетей, учитывать неоднородность случайных потоков и произвольный закон распределения входного трафика, широкий диапазон изменения параметров трафика, наличие избыточных потоков, обусловленное возможными ограничениями на ресурсы системы (СМО типа GI/G/1/m) и др.

Поэтому возникает вопрос о возможности применения традиционных методов моделирования для анализа производительности системы в целом. Поэтому используется метод имитационного моделирования, который является универсальным, трудоемким и дорогим.

Имитационное моделирование затрудняет тот факт, что в процессе проектирования обычно отсутствует подробная информация о законах распределения вероятностей параметров потоков, а имеются данные лишь о средних или средних значениях и дисперсиях этих распределений [41].

1.4.4 Имитационное моделирование

Характер процессов, присущих исследуемому объекту и подлежащих отображению в модели, может быть столь сложным, что построение математической модели превращается в трудную задачу, а анализ модели даже численными методами может оказаться нерезультативным, так как численные методы должны быть устойчивыми, иначе они не применимы.

Воспроизведение в модели динамики сложных пространственно-временных отношений между объектами, образующими систему, всего многообразия ее связей со средой, действующих в системе законов управления, адаптивных свойств и черт целенаправленного поведения трудновыполнимо чисто математическими средствами. При исследовании таких систем широкое применение находят модели, представляющие собой содержательное описание объектов исследования в форме алгоритмов.

В описаниях отражаются как структура исследуемых систем, что достигается отождествлением элементов систем с соответствующими элементами алгоритмов, так и процессы функционирования систем во времени, представляемые в логико-математической форме. При этом описания объектов исследования имеют алгоритмический характер, а сами модели суть программы для ЭВМ.

Модели такого типа называют имитационными или алгоритмическими [7,113].

К имитационному моделированию прибегают, когда дорого или невозможно экспериментировать на реальном объекте, невозможно построить аналитическую модель, необходимо симитировать поведение системы во времени.

Цель имитационного моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между её элементами или другими словами — разработке симулятора исследуемой предметной области для проведения различных экспериментов.

Основным преимуществом имитационного моделирования по сравнению с аналитическим является возможность решения более сложных задач.

Имитационные модели позволяют достаточно просто учитывать такие факторы, как наличие дискретных и непрерывных элементов, нелинейные характеристики элементов системы, многочисленные случайные воздействия и др., которые часто создают трудности при аналитических исследованиях.

В настоящее время имитационное моделирование - наиболее эффективный метод исследования сложных систем, а часто и единственный практически доступный метод получения информации о поведении системы, особенно на этапе ее проектирования [10,113].

В теории ВС с присущим ей вероятностным подходом к анализу систем при построении имитационных моделей наиболее широко используется метод статистических испытаний [6,19,22].

Процедура построения и анализа имитационных моделей методом статистических испытаний называется статистическим моделированием. Статистическое моделирование представляет собой процесс получения статистических данных о процессах, происходящих в моделируемой системе. Для получения представляющих интерес результатов статистические данные

обрабатываются и классифицируются с использованием методов математической статистики.

Позитивное свойство статистического моделирования - универсальность, гарантирующая принципиальную возможность анализа систем любой степени сложности с любой степенью детализации изучаемых процессов. Негативное свойство статистического моделирования это трудоемкость процесса моделирования, т.е. необходимость выполнения очень большого количества операций над числами, и частный характер результатов, не раскрывающий зависимости, а лишь определяющий ее в отдельных априорно назначенных точках.

Альтернатива аналитического исследования ВС - имитационное моделирование, позволяющее преодолеть основные ограничения, свойственные аналитическим моделям [10,16,23,24,48,78,111,114].

Имитационная модель - это описание объекта исследования на некотором языке. Составными частями имитационной модели являются описания: элементов, образующих систему; структуры системы, то есть совокупности связей между элементами; свойств среды, в которой функционирует исследуемая система.

Указанная информация в целом имеет логико-математический характер и представляется в форме совокупности алгоритмов, описывающих функционирование исследуемой системы.

Программа, построенная на основе этих алгоритмов, позволяет получить информацию о поведении исследуемой системы.

Таким образом, в качестве имитационной модели выступает программа для ЭВМ, а имитационное моделирование сводится к проведению экспериментов с моделью путем прогонов программы на некотором множестве данных.

Имитационные модели, используемые при исследовании ВС, имеют вероятностную природу. Моделирование вероятностных процессов основывается на методе Монте-Карло [8]. Сущность метода Монте-Карло

состоит в следующем: требуется найти значение a некоторой изучаемой величины. Для этого выбирают такую случайную величину X , математическое ожидание которой равно a , согласно формуле (1.3):

$$M(X) = a, \quad (1.3)$$

Практически же производят n испытаний, в результате которых получают n возможных значений X , вычисляют их среднее арифметическое по формуле (1.4):

$$\bar{x} = (\sum x_i) / n, \quad (1.4)$$

И принимают \bar{x} в качестве оценки (приближенного значения) a^* искомого числа a : $a \approx a^* = \bar{x}$.

Поскольку метод Монте-Карло требует проведения большого числа испытаний, его часто называют методом статистических испытаний. Теория этого метода указывает, как наиболее целесообразно выбрать случайную величину X , как найти ее возможные значения. В частности, разрабатываются способы уменьшения дисперсии используемых случайных величин, в результате чего уменьшается ошибка, допускаемая при замене искомого математического ожидания a его оценкой a^* . В общем случае при проведении имитационного моделирования можно выделить следующие этапы [11].

1. Создание концептуальной модели. Цель этого этапа - определение общего замысла модели на основе анализа поставленной задачи. На этапе создания концептуальной модели выдвигаются основные гипотезы, фиксируются сделанные допущения, определяется общая методика проведения исследования и производится выбор программных и технических средств.

2. Разработка имитационной модели. Цель этого этапа - создание программы для ЭВМ путем составления алгоритмического описания концептуальной модели. Алгоритмическое описание заключается в детальном определении параметров, характеристик, критериев эффективности и логико-

математическом представлении концептуальной модели. Составная часть разработки алгоритмического описания - разработка структуры модели и, возможно, представление модели в графической форме. Необходимый элемент выполняемых работ - тщательный анализ адекватности модели. Этап завершается программированием и контрольными испытаниями модели.

3. Моделирование на ЭВМ. Цель этого этапа - сбор на модели статистических данных о поведении исследуемой системы и их обработка для получения требуемых характеристик последней. Исходя из целей моделирования производится планирование машинных экспериментов с моделью: определяются необходимые наборы исходных данных и порядок прогонов программы на ЭВМ. Ввиду сложности и неформальности определенной выше последовательности работ при создании имитационных моделей широко используется метод последовательного уточнения модели, основывающийся на циклическом повторении отдельных этапов имитационного моделирования.

Важнейшее свойство имитационного моделирования - его универсальность. Имитационные модели используют при исследовании систем, сложность которых изменяется в широких пределах. При этом сложность создания и использования имитационных моделей не обнаруживает столь резкого роста с увеличением сложности исследуемых систем, как это обычно имеет место при применении аналитических моделей. Изменение уровня детализации описания системы в имитационных моделях обычно возможно без отказа от единого подхода к организации моделирования. Благодаря этому имитационные модели особенно эффективны при исследовании систем, структура которых может быть представлена в виде совокупности иерархически организованных подсистем [9].

Исследование ВС средствами имитационного моделирования в общем случае - трудоемкий и сложный процесс. Состав и последовательность работ при имитационном моделировании зависят от сложности исследуемой системы, особенностей постановки задачи, совершенства программных

средств, опыта проведения имитационного исследования и ряда других причин. В настоящее время завершенная теория имитационного моделирования и единая методология создания имитационных моделей отсутствуют. При имитационном моделировании большое значение имеют опыт, интуиция и изобретательность исследователя.

Модели классифицируются на дискретно и непрерывно изменяющиеся. Следует отметить, что эти термины относятся к модели, а не к реальной системе. Практически одну и ту же систему можно представить в виде дискретно изменяющейся модели (дискретной) либо непрерывно изменяющейся (непрерывной). Как правило, в имитационном моделировании время является основной независимой переменной. Другие переменные, включенные в имитационную модель, являются функциями времени, то есть зависимыми переменными. Определения “дискретная” и “непрерывная” относятся к поведению зависимых переменных [10,113].

При дискретной имитации зависимые переменные изменяются дискретно в определенные моменты имитационного времени, называемые моментами свершения событий. Переменная времени в имитационной модели может быть либо непрерывной, либо дискретной в зависимости от того, могут ли дискретные изменения зависимых переменных происходить в любые моменты времени или только в определенные моменты.

При непрерывной имитации зависимые переменные модели изменяются непрерывно в течение имитационного времени. Непрерывная модель может быть либо непрерывной, либо дискретной по времени в зависимости от того, будут ли значения зависимых переменных доступны в любой точке или только в определенные моменты имитационного времени.

При комбинированной имитации зависимые переменные модели могут изменяться дискретно, непрерывно или непрерывно с наложенными дискретными скачками. Время изменяется либо дискретно, либо непрерывно. Наиболее важный аспект комбинированной имитации заключается в

возможности взаимодействий между дискретно и непрерывно изменяющимися переменными [11].

1.4.4.1 Дискретное имитационное моделирование

Элементы дискретных систем, такие, как люди, оборудование, заказы, потоки заявок и т. п., включенные в имитационную модель, называют ее компонентами. Существует много типов компонентов, каждый из которых описывается различными характеристиками (атрибутами). Компоненты, участвующие в действиях различного типа, могут иметь одну или несколько общих характеристик, что позволяет объединять их в группы. Группы компонентов называются файлами. Включение компонента в файл означает, что он логически связан с другими компонентами этого файла.

Целью дискретного имитационного моделирования является воспроизведение взаимодействий, в которых участвуют компоненты, и изучение поведения и функциональных возможностей исследуемой системы. Говорят, что система находится в определенном состоянии, когда все ее компоненты находятся в состояниях, совместимых с областью значений, описывающих это состояние характеристик. Таким образом, имитация-это динамический "портрет" состояний системы во времени, то есть воспроизведение поведения системы во времени.

При дискретной имитации состояние системы может меняться только в моменты свершения событий. Так как состояние системы не изменяется между этими моментами, полный динамический портрет состояний системы может быть получен путем продвижения имитационного времени от одного события к другому. В большинстве языков дискретной имитации используется механизм продвижения времени, основанный на поиске следующего ближайшего события [11].

Функционирование дискретной имитационной модели можно задать следующим образом: определяя изменения состояния системы, происходящие

в момент свершения событий; описывая действия, в которых принимают участие элементы системы, или процесс, через который проходят элементы. Взаимосвязь между понятиями событие, действие и процесс представлена на рисунке 1.2. Процесс - это ориентированная во времени последовательность событий, которая может состоять из нескольких действий.

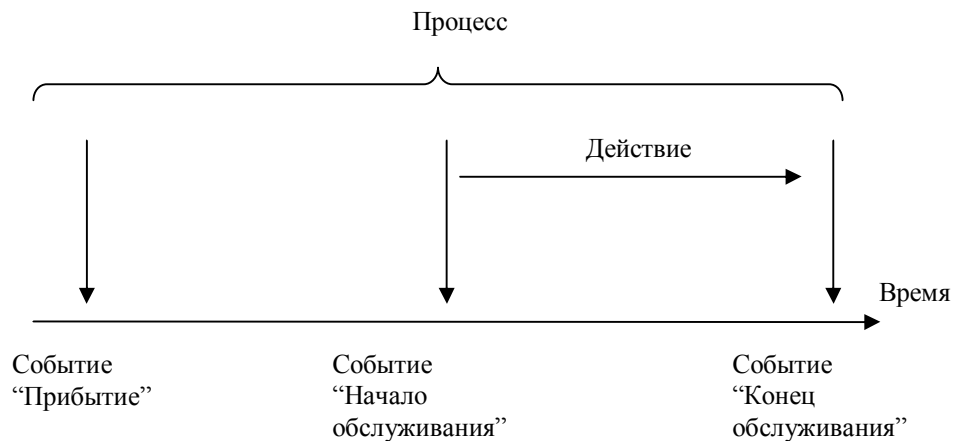


Рисунок 1.2 - Взаимосвязь между событиями, действиями и процессами

1.4.4.2 Непрерывное имитационное моделирование

В непрерывной имитационной модели состояние системы представляется с помощью непрерывно изменяющихся зависимых переменных. Для того чтобы отличать непрерывно изменяющиеся переменные от дискретно изменяющихся, будем первые называть переменными состояния. Непрерывная имитационная модель создается путем задания уравнений для совокупности переменных состояния, динамическое поведение которых имитирует реальную систему.

Модели непрерывных систем часто определяются в терминах производных переменных состояния. Это объясняется тем, что иногда легче задать выражение для определения скорости изменения переменной состояния, чем сделать это непосредственно для самой переменной.

1.4.4.3 Сетевое имитационное моделирование

В этом случае модель ВС представляется как совокупность взаимосвязанных СМО, имитирующих функционирование аппаратных и программных средств ВС: процессоров, оперативной и внешней памяти, каналов и периферийного оборудования, управляющих и прикладных программ, а также средств, отображающих среду, в которой функционирует исследуемая система [11]. На характеристики СМО, входящих в состав модели, не налагается жестких ограничений: допускаются различные законы и дисциплины обслуживания, потоки, отличные от простейших, и т.д. Модель такого типа в отличие от экспоненциальных сетей можно рассматривать как стохастическую сеть общего вида.

При моделировании ВС имитируются потоки заявок, перемещающихся в сети в соответствии с порядком функционирования системы [11]. Наблюдение за перемещением заявок в сети в течение определенного промежутка времени позволяет накопить статистические данные о функционировании системы. Путем обработки этих данных определяются требуемые характеристики ВС: коэффициенты загрузки оборудования, пропускная способность, информация о длинах очередей и т.д. Имитационный характер модели такого типа проявляется в двух аспектах. С одной стороны, модель системы представляет собой ее описание в терминах специализированного языка. С другой стороны, использование этой модели производится типичным для имитационных моделей способом: путем прямой реализации случайных процессов и наблюдений за моделью. Назовем модели такого типа сетевыми имитационными моделями (СИМ).

Использование принципа построения имитационной модели из типовых СМО позволяет исключить этап программирования. В данном случае он заменен этапом подготовки исходных данных для программы моделирования, что сводится к формальному кодированию СИМ. Основное ограничение данного подхода в том, что программа моделирования исследовать ВС хотя и

достаточно широкого, но все же ограниченного класса. При необходимости использования дисциплин или законов обслуживания, не являющихся типовыми, необходимо модифицировать саму программу моделирования. Достоинство СИМ - их явно выраженная структурная направленность: структура исследуемой системы находит последовательное выражение в структуре СИМ. Это качество СИМ значительно облегчает анализ адекватности модели.

1.4.4.4 Имитационное моделирование на основе языка системного моделирования

Используют несколько подходов к построению СИМ, различающихся выбором структуры модели. В структуре СИМ выделяются ее элементарные части (модели элементов) и такими элементами могут быть либо события, либо средства обслуживания, либо пункты маршрутов заявок. Соответственно различают модели и языки их описания, ориентированные на события, устройства или процессы. Поэтому выбор языка моделирования определяет структуру модели и методику ее построения.

Ориентация на устройства характерна для функционально-логического и более детальных иерархических уровней описания объектов. Примерами языков, ориентированных на события, могут служить Симскрипт, SMPL и др. Широко используется ориентация на процессы, она реализуется в таких языках, как Симула, GPSS, SOL и др.

В структуре СИМ, ориентированной на процессы, используются модели источников входных потоков заявок, устройств, накопителей и узлов. Источник входного потока заявок в модели представляет собой алгоритм, по которому вычисляются моменты появления заявок на входе. Источники могут быть зависимыми и независимыми. В зависимых источниках моменты появления заявок зависят от наступления определенных событий, например, от прихода другой заявки на вход некоторого устройства. Типичной моделью

независимого источника является алгоритм выработки значений случайной величины с заданным законом распределения [11,115].

Устройства в имитационной модели представляются алгоритмами выработки значений интервалов (длительностей) обслуживания. Чаще всего это алгоритмы генерации значений случайных величин с заданным законом распределения. Кроме того, модель устройства отражает заданную дисциплину обслуживания, поскольку в модель входит алгоритм, управляющий очередями на входах устройства.

Накопители моделируются алгоритмами определения объемов памяти, занимаемых заявками, приходящими на вход накопителя. Обычно объем памяти, занимаемый заявкой, вычисляется как значение случайной величины, закон и (или) числовые характеристики распределения зависят от типа заявки.

Узлы выполняют связующие, управляющие и вспомогательные функции в имитационной модели, например, для выбора направлений движения заявок в СИМ, изменения их параметров и приоритета, разделения заявок на части, их объединения и т.п. Обычно каждому типу элементарной модели, за исключением лишь некоторых узлов, в программной системе соответствует определенная процедура (подпрограмма). Тогда СИМ можно представить как алгоритм, состоящий из упорядоченных обращений к этим процедурам, отражающих поведение моделируемой системы.

В процессе моделирования происходят изменения модельного времени, которое чаще всего принимается дискретным, измеряемым в тактах. Время изменяется после того, как закончена имитация очередной группы событий, относящихся к текущему моменту времени t_k . Имитация сопровождается накоплением в отдельном файле статистики основных результатов моделирования. Имитация заканчивается, когда текущее время превысит заданный отрезок времени или когда входные источники выработают заданное число заявок. После этого производится обработка накопленных данных, в результате получаем значения требуемых выходных параметров.

1.5 Общие сведения и особенности моделирования на GPSS

Язык GPSS (General Purpose Simulation System - общецелевая система моделирования) относят к универсальным языкам системного моделирования, хотя в большей степени он приспособлен для описания систем с объектами информационной природы, таких как ВС и системы передачи данных [12,21,112].

Любая моделируемая система может быть описана в терминах небольшого набора абстрактных элементов - "объектов". Подобным же образом логические правила, лежащие в основе систем, могут быть сведены к обобщенному набору простых операций. Таким образом, язык моделирования может быть составлен из абстрактных объектов и операций. Комбинируя элементы и логические операции модели, можно выполнять на ней эксперименты значительно быстрее и с меньшими затратами, чем в реальной системе. Специфические элементы и логические правила конкретных систем могут также представляться в терминах абстрактных объектов и операций этого языка. GPSS обеспечивает такой системный язык. Он может быть с наибольшим успехом использован для моделирования систем, формализуемых в виде систем массового обслуживания. В качестве объектов языка используются аналоги таких стандартных компонентов СМО, как заявки, обслуживающие приборы, очереди и т.п. Достаточный набор подобных компонентов позволяет конструировать сложные имитационные модели, сохраняя привычную терминологию СМО. Модель строится из наборов простых объектов, разделяемых на семь классов: динамические, операционные, аппаратные, статистические, вычислительные, запоминающие и группирующие.

Динамические объекты, соответствующие заявкам в системах массового обслуживания, называются в GPSS транзактами. Они "создаются" и "уничтожаются" так, как это необходимо по логике модели в процессе моделирования. С каждым транзактом может быть связано произвольное

число параметров, несущих в себе необходимую информацию об этом транзакте.

Операционные объекты GPSS, называемые блоками, соответствуют операторам-блокам исходной программы, они формируют логику модели, давая транзактам указания: куда идти и что делать дальше [12,112].

Модель системы на GPSS можно представить совокупностью блоков, объединенных в соответствии с логикой работы реальной системы в так называемую блок-схему. Блок-схема модели может быть изображена графически, наглядно показывая взаимодействие блоков в процессе моделирования.

Аппаратные объекты - это абстрактные элементы, на которые может быть расчленено (декомпозировано) оборудование реальной системы.

Статистические объекты служат для сбора и обработки статистических данных о функционировании модели. К ним относятся очереди и таблицы.

Каждая очередь обеспечивает сбор и обработку данных о транзактах, задержанных в какой-либо точке модели, например перед одноканальным устройством. Таблицы используются для получения выборочных распределений некоторых случайных величин, например времени пребывания транзакта в модели.

К вычислительным объектам относятся переменные (арифметические и булевские) и функции. Они используются для вычисления некоторых величин, заданных арифметическими или логическими выражениями либо табличными зависимостями.

Запоминающие объекты обеспечивают хранение в памяти ПК отдельных величин, используемых в модели, а также массивов таких величин. К ним относятся так называемые сохраняемые величины и матрицы сохраняемых величин.

К объектам группирующего класса относятся списки пользователя и группы. Списки пользователя используются для организации очередей с

дисциплинами, отличными от дисциплины "раньше пришел - раньше обслужен".

Каждому объекту того или иного класса соответствуют числовые атрибуты, описывающие его состояние в данный момент модельного времени. Кроме того, имеется ряд так называемых системных атрибутов, относящихся не к отдельным объектам, а к модели в целом. Большая часть атрибутов доступна программисту и составляет так называемые стандартные числовые атрибуты (СЧА), которые могут использоваться в качестве операндов операторов исходной программы. Все СЧА в GPSS являются целыми числами.

Прогон текущей модели, т.е. собственно моделирование заключается в перемещении транзактов от одних блоков к другим, аналогично тому, как в моделируемой СМО перемещаются заявки, соответствующие транзактам.

1.5.1 Генерирование заявок и случайных величин

Назначение источников в имитационной модели - формирование набора данных, представляющих заявку. Источник передает заявку в сеть в произвольные моменты времени. Интервалы времени между заявками в потоке, формируемом источником, в общем случае - случайные величины, распределенные по определенному закону.

Для получения случайных величин с другими распределениями в GPSS используются следующие методы их формирования [12,112].

Как известно, произвольная случайная величина связана со случайной величиной R , имеющей равномерное распределение на отрезке $[0;1]$, через свою обратную функцию распределения. Для некоторых случайных величин уравнение связи имеет явное решение, и значение случайной величины с заданным распределением вероятностей может быть вычислено через R по формуле. Так, например, значение случайной величины E с показательным (экспоненциальным) распределением с параметром d вычисляется по формуле (1.5)

$$E = -\frac{1}{d} \cdot \ln(R), \quad (1.5)$$

Параметр d имеет смысл величины, обратной математическому ожиданию E , а, следовательно, $1/d$ - математическое ожидание (среднее значение) случайной величины E .

Для получения случайной величины R с равномерным распределением на отрезке $[0;1]$ в GPSS имеются встроенные генераторы случайных чисел. Правда, встроенные генераторы случайных чисел дают числа не на отрезке $[0;1]$, а целые случайные числа, равномерно распределенные от 0 до 999, но их нетрудно привести к указанному отрезку делением на 1000.

Большинство случайных величин не может быть получено через случайную величину R с помощью арифметического выражения. Кроме того, такой способ является достаточно трудоемким, так как требует обращения к математическим функциям, вычисление которых требует десятков машинных операций. Другим возможным способом является использование вычислительных объектов GPSS типа функция.

Функции используются для вычисления величин, заданных табличными зависимостями. Каждая точка таблицы задается парой X_i (значение аргумента) и Y_i (значение функции). Вычисление непрерывной функции производится следующим образом. Сначала определяется интервал $(X_i; X_{i+1})$, на котором находится текущее значение аргумента (в нашем примере - сгенерированное значение). Затем на этом интервале выполняется линейная интерполяция с использованием соответствующих значений Y_i и Y_{i+1} . Результат интерполяции усекается (отбрасыванием дробной части) и используется в качестве значения функции.

Использование функций для получения случайных чисел с заданным распределением дает хотя и менее точный результат за счет погрешностей аппроксимации, но зато с меньшими вычислительными затратами (несколько машинных операций на выполнение линейной интерполяции).

1.5.2 Моделирование устройств

Моделирование устройств включает в себя следующие этапы: имитацию обслуживания; имитацию закона обслуживания; фиксацию статистических данных об использовании устройств. Алгоритмы моделирования устройств складываются из алгоритмов моделирования отдельных событий, связанных с прохождением заявок через устройства. Прохождение заявки через устройство может сопровождаться постановкой на обслуживание, в очередь, завершением обслуживания.

В GPSS элементами, которые требуют обслуживания, являются транзакты [12,112]. Они перемещаются в модели от одного блока к другому. Если в какой-то момент времени транзакт занимает устройство, то для этого он входит (или пытается войти) в соответствующий блок, описывающий это устройство. Блок должен обладать следующими свойствами: если устройство уже используют, то транзакт не может войти в блок и должен ждать в очереди. И если устройство не используют, то транзакт может войти в блок, при этом статус устройства меняется на «занято».

Все объекты GPSS World имеют меню в их собственных окнах. Однако большинство действий запускается из главного окна с помощью основного меню (File, Edit, View, Windows, Help (Файл, Правка, Поиск, Вид, Окно, Справка). Каждый пункт основного меню имеет команды подменю, большинство из которых доступны для использования только в определенных случаях. Это сделано для оказания помощи в выборе правильных действий. В недоступном (отключенном) состоянии команды меню отображаются серым цветом и не могут быть выбраны.

В системе GPSS World различают четыре вида объектов: модель, процесс моделирования, отчет и текстовый. Модель разрабатывается на языке GPSS и состоит из операторов, а объект «модель» создается при помощи встроенного текстового редактора.

Текстовый объект предназначен для упрощения разработки больших моделей и создания библиотеки исходных текстов, то есть модель может быть разделена на наборы операторов, представляющие собой отдельные текстовые файлы, а затем объектом «процесс моделирования» собрана из них.

Объект «процесс моделирования» представляет собой оттранслированный объект «модель». При отсутствии синтаксических ошибок транслятор активизирует все интерактивные команды и окна для того, чтобы можно было следить за состоянием процесса моделирования и управления им. Однако чаще всего синтаксические ошибки в объекте «модель» имеются. После исправления ошибок повторно выполняется трансляция.

Для наблюдения за процессом моделирования и действием на него команд на этапе тестирования и верификации используются десять графических окон. Окна подразделяются по типам объектов - блоки, выражения, устройства, логические ключи, матрица, график, очереди, ячейки, памяти, таблицы [12,112].

Окно Blocks (Блоки) показывает входы транзактов в блоки. Оно позволяет с помощью мыши или клавиатуры устанавливать и удалять контрольные точки и визуально отслеживать передвижение транзактов. Окно Expression предназначено для наблюдения за изменениями любого количества Plus-выражений. Пример окна Блоки представлен на рисунке 1.3.

Loc	Block Type	Current Co...	Entry Co...	Retry Ch...	Line Number	Include-file
1 GEN	GENERATE	0	53	0	2	0
2 QUE	QUEUE	1	53	0	3	0
3 SEI	SEIZE	1	52	0	4	0
4 DEP	DEPART	0	51	0	5	0
5 ADV	ADVANCE	0	51	0	6	0
6 REL	RELEASE	1	51	0	7	0
7 TER	TERMINATE	0	50	0	8	0
8 GEN	GENERATE	0	0	0	9	0
9 TER	TERMINATE	0	0	0	10	0

Рисунок 1.3 – Окно Блоки

С помощью окна Plot (График) одновременно можно наблюдать любое количество многоцветных графиков. Эти графики можно сохранить или распечатать. Графики могут масштабироваться в любом направлении. Окно Table (Таблица) представляет собой динамическую гистограмму, полезную для наблюдения за сбором данных.

1.5.3 Отчеты

По окончании работы модели система автоматически создает отчет. Статистическая информация выводится только о тех объектах, которые присутствуют в модели. В общем же случае стандартный отчет содержит кроме общей характеристики модели следующие сведения. Об именах объектов модели, блоках модели, устройствах, многоканальных устройствах очередях, списках пользователя, статистических таблицах, матрицах, группах транзактов, числовых группах, логических переключателях, сохраняемых величинах, списке текущих событий, списке будущих событий [11].

Отчет содержит следующую информацию - общие сведения о модели и ее прогоне, сведения об именах объектов, блоках, устройствах, многоканальных устройствах, очередях модели, статистических таблицах, списках пользователя, логических переключателях, сохраняемых величинах и матрицах модели.

Сведения о транзактах размещаются в отчете в соответствии с размещением транзактов в каждом списке. Информация о списке текущих событий включает в себя для каждого транзакта его номер (XN), приоритет (PRI), время входа транзакта в модель (M1), номер текущего блока (CURRENT), номер следующего блока (NEXT), а также перечень всех параметров транзакта в формате: "параметр" (PARAMETER), "значение" (VALUE), ASSEM – номер семейства данного транзакта [12,112].

Сведения об объектах того или иного типа появляются в отчете только в том случае, если в модели присутствует хотя бы один объект данного типа.

Как еще будет отмечено далее в пункте 1.7, ни одна система моделирования не является универсальной. И у системы GPSS World есть свои преимущества, заключающиеся в высоком быстродействии, и недостатки заключающиеся в отсутствии такого удобного графического интерфейса как в рассмотренной далее в пункте 1.6 системе моделирования сетей передачи данных OPNET Modeler.

1.6 OPNET Modeler

Opnet Modeler предлагает пользователям графическую среду для создания, выполнения и анализа событийного моделирования сетей связи. Это удобное программное обеспечение может быть использовано для большого ряда задач, например, типичные создание и проверка протокола связи, анализ взаимодействий протокола, оптимизация и планирование сети. Также возможно осуществить с помощью пакета проверку правильности аналитических моделей и описание протоколов [14,86,101,102,103,104,105].

С помощью редактора проекта (рисунок 1.4) могут быть созданы палитры сетевых объектов, которым пользователь может присвоить различные формы соединения узлов и связи. Автоматизированное порождение сетевой топологии - кольца, звезды, случайной сети, также поддерживается и резервируется утилитами для импортируемых сетевых топологий в различных форматах. Случайный трафик может быть автоматически сгенерирован из алгоритмов, указанных пользователем, а также импортирован из входящих в стандартную комплектацию пакета форматов реальных трафиков линий. Результаты моделирования могут быть проанализированы, а графы и анимация трафика будут сгенерированы автоматически.

Есть несколько сред редактора - по одной для каждого типа объекта. Организация объектов - иерархическая, сетевые объекты (модели) связаны набором узлов и объектов связи, в то время как объекты узла связаны набором объектов, типа модулей очередности, модулей процессора, передатчиков и

приемников. Версия ПО для моделирования радиоканала содержит модели антенны радиопередатчика, антенны приемника, перемещающихся объектов узла (включая спутники).

Основа связи между процессами - структура данных, называемая пакетом. Могут быть заданы форматы пакета, то есть они определяют, какие поля могут содержать такие стандартные типы данных, как целые числа, числа с плавающей запятой и указатели на пакеты (эта последняя способность позволяет инкапсулировать моделирование пакета). Структура данных, вызывающая информацию контроля интерфейса (interface control information - ICI), может быть разделена между двумя событиями моделей процесса - это еще один механизм для межпроцессорной связи, это очень удобно для команд моделирования и соответствует архитектуре многоуровневого протокола. Процесс также может динамически порождать дочерние процессы, которые упростят функциональное описание таких систем, как серверы.

Несколько основных моделей процесса входят в базовую комплектацию пакета, моделируя популярные протоколы работы с сетями и алгоритмы, вроде протокола шлюза границы (BGP), протокола TCP/IP, ретрансляции кадров, Ethernet, асинхронного режима передачи (ATM), и других. Базовые модели полезны для быстрого создания сложных имитационных моделей архитектуры сети, а также для обучения, чтобы дать точное функциональное описание протокола.

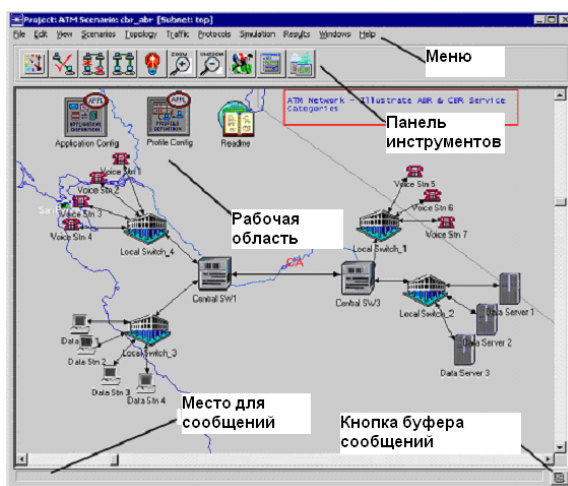


Рисунок 1.4 – Окно редактора проекта

1.7 Другие программные системы

На данный момент существуют специальные, ориентированные на моделирование вычислительных сетей программные системы, в которых процесс создания модели упрощен. Такие программные системы сами генерируют модель сети на основе исходных данных о ее топологии и используемых протоколах, об интенсивностях потоков запросов между компьютерами сети, протяженности линий связи, о типах используемого оборудования и приложений. Программные системы моделирования могут быть узко специализированными и достаточно универсальными, позволяющие имитировать сети самых различных типов. Качество результатов моделирования в значительной степени зависит от точности исходных данных о сети, переданных в систему имитационного моделирования.

Программные системы моделирования сетей - инструмент, который может использовать любой администратор корпоративной сети при проектировании новой сети или изменении существующей. Продукты данной категории позволяют проверить последствия внедрения тех или иных решений еще до оплаты приобретаемого оборудования. Конечно, большинство из этих программных пакетов стоят достаточно дорого, но и возможная экономия может быть тоже весьма ощутимой.

Программы имитационного моделирования сети используют в своей работе информацию о пространственном расположении сети, числе узлов, конфигурации связей, скоростях передачи данных, используемых протоколах и типе оборудования, а также о выполняемых в сети приложениях.

Обычно имитационная модель строится не с нуля. Существуют готовые имитационные модели основных элементов сетей: наиболее распространенных типов маршрутизаторов, каналов связи, методов доступа, протоколов и т.п. Эти модели отдельных элементов сети создаются на основании различных данных: результатов тестовых испытаний реальных устройств, анализа принципов их работы, аналитических соотношений. В результате создается библиотека

типовых элементов сети, которые можно настраивать с помощью заранее предусмотренных в моделях параметров.

Системы имитационного моделирования обычно включают также набор средств для подготовки исходных данных об исследуемой сети - предварительной обработки данных о топологии сети и измеренном трафике. Эти средства могут быть полезны, если моделируемая сеть представляет собой вариант существующей сети и имеется возможность провести в ней измерения трафика и других параметров, нужных для моделирования. Кроме того, система снабжается средствами для статистической обработки полученных результатов моделирования.

В таблице 1.1 приведены характеристики нескольких популярных систем имитационного моделирования различного класса - от простых программ, предназначенных для установки на персональном компьютере, до мощных систем, включающих библиотеки большинства имеющихся на рынке коммуникационных устройств и позволяющих в значительной степени автоматизировать исследование изучаемой сети [4].

Таблица 1.1 – Сравнительная характеристика систем имитационного моделирования

Компания и продукт	Стоимость(долл)	Тип сети	Требуемые ресурсы	Примечания
American NYTech, Prophecy	1495	ЛС	8МбОП, 6 Мбдиск, DOS, Windows, OS/2	Оценивание производительности при работе с текстовыми и графическими данными по отдельным сегментам и сети в целом

Продолжение таблицы 1.1

CACI Product, COMNET III	34500-39500	ЛС, ГС	32 МбОП, 100 Мбдиск, Windows, Windows NT, OS/2, Unix	Моделирует сет и X.25, ATM, Frame Relay, связи LAN- WAN, SNA, DECnet, протоколы OSPF, RIP. Доступ CSMA/CD и токенный доступ, FDDI и др. Встроенная библиотека маршрутизатор ов 3COM, Cisco, DEC, HP, Wellfleet
Make System, NetMaker XA	6995-14995	ЛС, ГС	128 МбОП, 2000 Мбдиск, AIX, Sun OS, Sun Solaris	Проверка данных о топологии сети; импорт информации о трафике, получаемой в реальном времени
NetMagic System, StressMag ik	2995	ЛС	2 МбОП, 8 Мбдиск, Windows	Поддержка стандартных тестов измерения производитель ности; имитация пиковой нагрузки на файл-сервер
MIL3, Opnet	16000-40000	ЛС, ГС	16 МбОП, 100 Мбдиск, DEC AXP, Sun OS, Sun Solaris, HP-UX	Имеет библиотеку различных сетевых устройств

Системы управления сетью обычно рекламируются как всеохватывающие и всемогущие. Средства моделирования работы сети назвать таковыми никак нельзя. Разброс цен на эти средства составляет от 129 дол. (за работающую под Windows программу LANModel от Network Performance Institute) до 40 тыс. дол. (за COMNET III от CACI, которая может работать под Windows 95, Windows NT и Unix.)[13] Каждый из продуктов имеет свою собственную нишу. Одни средства рассчитаны на управление локальными сетями, а другие предназначены для администраторов территориально-распределенных сетей. Одни просто позволяют строить схемы сетей и обладают ограниченными возможностями моделирования, другие же способны производить сложный анализ глобальных сетей.

Однако ни одно из средств не способно охватить все задачи, поэтому если необходимо смоделировать сеть и проанализировать ее работу, придется покупать несколько продуктов [46]. Имеются также заметные различия между продуктами, которые, как утверждается, решают одни и те же задачи.

Не так-то просто обнаружить средство, умеющее работать с частными протоколами для устаревшего оборудования и связными протоколами. Большинство продуктов рассчитывают, как будут работать те элементы сети, о которых у них имеются данные.

Достоинство таких средств как COMNET и OPNET является наличие в их комплектах примеров моделей и характеристик работы сети, а также готовых устройств различных производителей - они помогают пользователям освоиться с продуктами. Но не нужно забывать, что список устройств постоянно пополняется, а сами устройства совершенствуются.

Следует ожидать, что средства моделирования будут адаптироваться к изменениям характера сетей, которые становятся все более интеллектуальными и все в большей степени ориентируются на системные параметры (в частности, на учет характера приложений и предоставляемых сетевых услуг).

1.8 Цели и задачи исследования

Целью работы является получение оценок показателей производительности сетей ЭВМ на основе разработанных аналитических и имитационных моделей, учитывающих неоднородность потоков, изменчивость их характеристик, а также выработка рекомендаций для модернизации сетей.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

- на основе математических моделей мультиплексирования и демultipлексирования потоков на уровне средних значений и дисперсий времени между событиями в потоках исследовать метод декомпозиции сетей массового обслуживания;

- разработать аналитические и имитационные модели сети Оренбургского филиала Центробанка РФ и сети кафедры вычислительной техники ГОУ ВПО ОГУ;

- разработать программную систему расчета характеристик моделей компьютерных сетей с учетом неоднородности трафика;

- аналитические модели сетей для оценки их адекватности, исследовать средствами GPSS World и системой OPNET Modeler при определении основных показателей функционирования исследуемых сетей;

- провести сравнение полученных результатов по показателям производительности с помощью вышеуказанных систем моделирования;

- разработать рекомендации по повышению производительности сетей ЭВМ.

Выводы

1. Компьютерные сети ЭВМ есть сложные системы, являющиеся по своей природе стохастическими и их можно моделировать, используя идеи и методы теории массового обслуживания.

2. Анализ существующих пакетов и систем моделирования сетей передачи данных показывает необходимость их совершенствования в направлении доступности рядовому исследователю по стоимости и открытости, т.е. возможности гибко подстраиваться под конкретную задачу.

3. В данной работе будут использованы теория и методы анализа производительности сетей ЭВМ.

4. В качестве метода анализа сетевых моделей в работе будет исследован и расширен метод декомпозиции сети на уровне двух первых моментов (средних значений и дисперсий времен поступления и обслуживания) в случае однородных и неоднородных потоков.

5. Методы имитационного моделирования будут использованы для проверки разработанных математических моделей мультиплексирования и демультиплексирования потоков на уровне средних значений и дисперсий времени между событиями в потоках.

2 Применение теории массового обслуживания к исследованию компьютерных сетей

2.1 Сети массового обслуживания и их классификация

Проектирование информационной системы можно представить как решение последовательности проектных задач, которые включают задачи синтеза и задачи анализа системы и ее частей.

Моделирование - один из наиболее распространенных методов исследования процессов функционирования сложных систем. Известно достаточно большое количество методов построения математических моделей и средств реализации моделирующих алгоритмов. Наиболее распространенными из них являются системы и сети массового обслуживания.

В терминах систем массового обслуживания (СМО) описываются многие реальные системы: вычислительные системы, узлы сетей связи, системы посадки самолетов, магазины, производственные участки - любые системы, где возможны очереди и (или) отказы в обслуживании.

В вычислительной системе роль обслуживающего прибора играет ЭВМ, роль заявок - решаемые задачи. Источником заявок служат терминалы пользователей. Моментом выдачи заявки является момент нажатия клавиши для подачи директивы о запуске задачи на решение. Операционная система ЭВМ исполняет роль диспетчера: определяет очередность решения задач. В роли ячеек буфера выступают ячейки памяти ЭВМ, хранящие сведения о задачах, требующих решения.

Усложнение структур и режимов реальных систем затрудняет применение классических методов теории массового обслуживания ввиду возрастающей размерности решаемых задач, что особенно характерно для систем с сетевой структурой. Одним из возможных путей преодоления размерности является использование моделей в форме сетей массового обслуживания (сети МО) [82].

Система массового обслуживания - одна из основных моделей, используемых инженерами-системотехниками. Как модель СМО рассматривается в теории массового обслуживания (другое название - теория очередей). Первые работы в этой области были вызваны потребностями практики, в частности широким развитием телефонных сетей. Поэтому в работах по теории СМО широко используется терминология, заимствованная из телефонии: требования, вызовы, заявки, каналы (приборы) обслуживания и т.п.

Теория массового обслуживания связана с разработкой и анализом математических, т.е. абстрактных, моделей, которые описывают процесс обслуживания некоторых объектов, поступающих на вход обслуживающего прибора в виде некоторого потока, и образующего в общем случае очередь на входе обслуживающего прибора .

Поскольку рассматриваются абстрактные модели, не важна природа обслуживаемых объектов и их физические свойства (будь то вызовы, управляющие или информационные кадры в сети связи или посетители магазина, или детали на автоматической линии и т.п.). Существенным являются моменты появления этих объектов и правила, и законы их обслуживания, так как от этих моментов и законов зависит адекватное отображение эволюции моделируемого объекта во времени. Поэтому, когда говорят о методах анализа очередей, имеют в виду математические (абстрактные) модели, а из контекста всегда должно быть ясно, для исследования какой реальной системы применяются эти модели.

Целью использования СМО как модели является анализ качества функционирования указанных систем-оригиналов.

В свою очередь, сети МО используют для определения важнейших системных характеристик информационных систем: производительность; время доставки пакетов; вероятности потери сообщений и блокировки в узлах; области допустимых значений нагрузки, при которых обеспечивается требуемое качество обслуживания и др.

В теории сети МО фундаментальным является понятие состояния сети. Важнейшая характеристика сетей МО - вероятности их состояний. Для определения вероятностей состояний сети МО исследуют протекающий в сети случайный процесс. В качестве моделей протекающих в сети МО процессов наиболее часто используют марковские и полумарковские.

Марковским процессом с непрерывным временем описывают функционирование экспоненциальных сети МО. Сеть называется экспоненциальной, если входящие потоки требований в каждую СМО пуассоновские, а времена каждого этапа обслуживания, реализуемого на любой СМО сети, имеют экспоненциальное распределение. Это позволяет считать, что этапы обслуживания независимы между собой и не зависят ни от параметров входящего потока, ни от состояния сети, ни от маршрутов следования требований.

Теория экспоненциальных сети МО наиболее разработана, и ее широко применяют как для исследования сетей ПД так и для исследования мультипроцессорных вычислительных систем (ВС).

Аналитические методы расчета характеристик ИС базируются, как правило, на анализе экспоненциальных сети МО. При использовании этого математического аппарата удастся получить аналитические модели для решения широкого круга задач исследования систем.

Сети МО - это, прежде всего, совокупность взаимосвязанных систем массового обслуживания [81].

Система массового обслуживания (СМО) - одна из основных моделей, используемых инженерами-системотехниками.

Заявки (требования) на обслуживание поступают через постоянные или случайные интервалы времени. Приборы (каналы) служат для обслуживания этих заявок. Обслуживание длится некоторое время, постоянное или случайное. Если в момент поступления заявки все приборы заняты, заявка помещается в ячейку буфера и ждет там начала обслуживания. Заявки, находящиеся в буфере, составляют очередь на обслуживание. Если все ячейки буфера заняты, заявка

получает отказ в обслуживании и теряется. Вероятность потери заявки (вероятность отказа) - одна из основных характеристик СМО. Другие характеристики: среднее время ожидания начала обслуживания, средняя длина очереди, коэффициент загрузки прибора (доля времени, в течение которого прибор занят обслуживанием) и т.д.

В зависимости от объема буфера различают СМО с отказами, где нет буфера, СМО с ожиданием, где буфер не ограничен и СМО смешанного типа, где буфер имеет конечное число заявок. В СМО с отказами нет очереди, в СМО с ожиданием нет потерь заявок, в СМО смешанного типа то и другое возможно.

Иногда различают заявки по их приоритету, т.е. по важности. Заявки высокого приоритета обслуживаются в первую очередь. Абсолютный приоритет дает право прервать обслуживание менее важной заявки и занять ее место в приборе (или в буфере, если все приборы заняты столь же важными заявками). Вытесненная заявка либо теряется, либо поступает в буфер, где ждет дообслуживания. Иногда приходится возобновлять обслуживание вытесненной заявки с начала, а не продолжать с точки прерывания. Если заявка вытеснена из буфера, она, естественно, теряется. В вычислительных системах абсолютным приоритетом обладают команды оператора. Относительный приоритет дает право первоочередного занятия освободившегося прибора. Он не дает право на вытеснение заявки из прибора или буфера. Абсолютный и относительный приоритеты различаются и моментом действия: абсолютный реализуется в момент поступления, а относительный - в момент освобождения прибора.

Различают фиксированные и динамические приоритеты. Фиксированные приоритеты чаще называют дисциплиной обслуживания [81].

Дисциплина обслуживания задает порядок выбора из очереди в освободившийся прибор заявок одинакового приоритета. Выделим следующие дисциплины: FIFO (First Input - First Output): первым пришел - первым обслужен, LIFO (Last Input - First Output): последним пришел - первым обслужен, RAND (Random): случайный выбор из очереди. В быту обычно действует дисциплина FIFO. Дисциплина LIFO реализуется в буфере,

организованном по принципу стека. Такая дисциплина может оказаться целесообразной, например, при передаче информации, если ее ценность быстро падает со временем.

Сеть массового обслуживания представляет собой совокупность конечного числа N обслуживающих узлов, в которой циркулируют заявки, переходящие в соответствии с маршрутной матрицей из одного узла в другой. Узел всегда является разомкнутой СМО (причем СМО может быть любого класса). При этом отдельные СМО отображают функционально самостоятельные части реальной системы, связи между СМО - структуру системы, а требования, циркулирующие по сети МО, - составляющие материальных потоков (сообщения (пакеты) в коммуникационной сети, задания в мультипроцессорных системах, контейнеры грузопотоков и т.п.).

Для наглядного представления сети МО используется граф, вершины которого (узлы) соответствуют отдельным СМО, а дуги отображают связи между узлами.

Переход заявок между узлами происходит в соответствии с переходными вероятностями, p_{ij} - вероятность того, что заявка после обслуживания в узле i перейдет в узел j . Естественно, если узлы непосредственно не связаны между собой, то $p_{ij} = 0$. Если из i -го узла переход только в один какой-либо узел j , то $p_{ij} = 1$.

Сети МО классифицируют по нескольким признакам (рисунок 2.1).

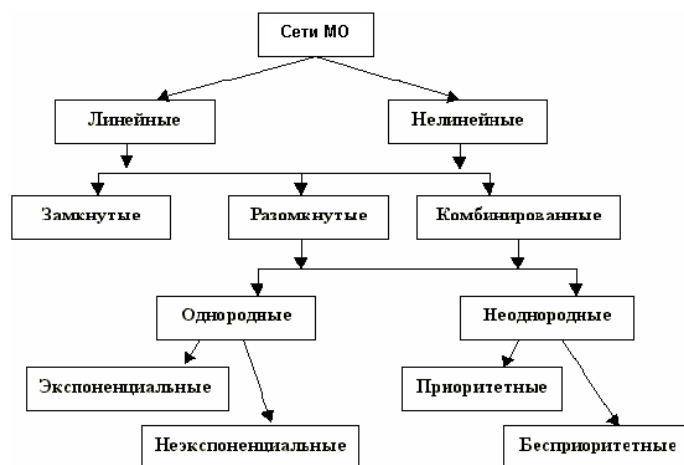


Рисунок 2.1 - Классификация сетей массового обслуживания

В замкнутой сети МО циркулирует фиксированное число заявок, а внешний независимый источник отсутствует. Исходя из физических соображений, в замкнутой сети МО выбирается внешняя дуга, на которой отмечается псевдонулевая точка, относительно которой могут измеряться временные характеристики.

Комбинированная сеть – это сеть, в которой постоянно циркулирует определенное число заявок и есть заявки, поступающие от внешних независимых источников.

В однородной сети циркулируют заявки одного класса. И, наоборот, в неоднородной сети могут присутствовать заявки нескольких классов. Заявки относятся к разным классам, если они различаются хотя бы одним из следующих атрибутов:

- законом распределения длительности обслуживания в узлах;
- приоритетами;
- маршрутами (путями движения заявок в сети).

В экспоненциальной сети длительности обслуживания во всех узлах распределены по экспоненциальному закону, и потоки, поступающие в разомкнутую сеть, простейшие (пуассоновские). Во всех остальных случаях сеть является неэкспоненциальной.

Если хотя бы в одном узле осуществляется приоритетное обслуживание, то это – приоритетная сеть. Приоритет – это признак, определяющий очередность обслуживания. Если обслуживание заявок в узлах осуществляется в порядке поступления, то такая сеть бесприоритетная.

Таким образом, экспоненциальной будем называть сеть МО, отвечающую требованиям:

- входные потоки сети МО пуассоновские;
- во всех N СМО время обслуживания заявок имеет экспоненциальную функцию распределения вероятностей, и заявки обслуживаются в порядке прихода;

- переход заявки с выхода i -й СМО на вход j -й является независимым случайным событием, имеющим вероятность p_{ij} ; p_{i0} - вероятность ухода заявки из сети МО.

Если заявки приходят в сеть и уходят из нее, то сеть называется разомкнутой. Если заявки не приходят в сеть и из нее не уходят, сеть называется замкнутой. Число заявок в замкнутой сети постоянное.

2.2 Уравнения равновесия потоков на уровне интенсивностей

Для решения задачи анализа производительности сети, заключающейся в определении всех основных узловых и сетевых характеристик, ее модель должна быть декомпозирована на отдельные узлы с вычислением характеристик входных и выходных потоков в каждом узле [27-42,43,89,91,108,109].

Прогнозирование характеристик потоков важно для оптимального управления ими, а также для ограничения загрузки буферов узлов коммутаций (УК), каналов связи и согласования скоростей передачи и приема информации между узлами источник – адресат.

Характеристики потоков в сетевых моделях, такие как средние значения, дисперсии и моменты высших порядков интервалов времени между заявками аналитическими методами, точно не могут быть определены.

Пусть мы имеем открытую сетевую модель с матрицей вероятностей передач $P=\{p_{ij}\}$, ($i, j = 1, \dots, n$), где p_{ij} – вероятность того, что заявка, покидающая узел S_i , поступит в узел S_j . Узел представляет собой одноканальную систему $GI/G/1$ с бесконечной очередью, для которой определены числовые характеристики случайного времени обслуживания: τ_{μ} - среднее значение и D_{λ_i} - дисперсия времени обслуживания. Для внешнего потока задана совокупность средних значений $\bar{\tau}_{0_i}$ и дисперсий D_{0_i} времени между соседними заявками рекуррентного потока, входящего в узел S_i .

Для декомпозиции такой модели на отдельные узлы на уровне средних значений и дисперсий времен поступления и обслуживания заявок не существует точных методов. В некоторых работах, например в [1, 2], пользуются только уравнениями равновесия потоков на уровне их интенсивностей λ_i . Такой подход фактически означает замену случайного потока событий его средним значением, т.е. математическим ожиданием. Как известно, случайный процесс на практике чаще всего характеризуют его математическим ожиданием, дисперсией и ковариационной функцией. Поэтому учет дисперсий (вторых моментов распределений) интервалов времен существенно может улучшить результаты расчетов. Для этого рассмотрим структуру отдельного узла сетевой модели (рисунок 2.2).

Решением системы уравнений (2.1) равновесия потоков относительно интенсивностей λ_i потоков на входе и выходе каждой СМО сети определяем средние значения интервалов времен между соседними заявками $\bar{\tau} = \lambda_i^{-1}$ для каждого потока в сети

$$\lambda_i = \lambda_{oi} + \sum_{j=1}^n p_{ji} \lambda_j, (i = 1, \dots, n; \lambda_{oi} = \bar{\tau}_{oi}^{-1}), \quad (2.1)$$

где λ_{oi} - интенсивность потока извне в i -й узел (рисунок 2.2).

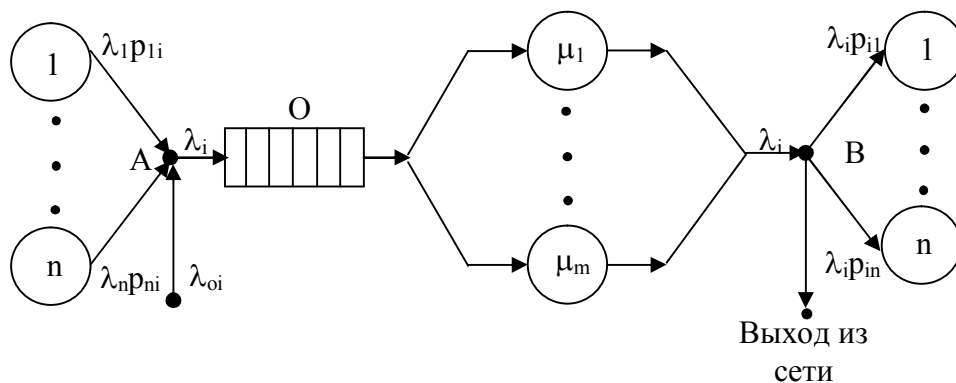


Рисунок 2.2 - Структура i – й СМО сети
(А - точка композиции потоков, В – точка декомпозиции потоков)

Для вывода уравнений равновесия потоков относительно дисперсий времен между соседними заявками в потоках необходимо знать не только дисперсии времен во входных потоках, но и дисперсии времен в выходных потоках из СМО. Поэтому предварительно докажем следующие утверждения.

Утверждение 1. Пусть $\bar{\tau}_{\text{вых}}, D_{\text{вых}}, \bar{\tau}_{\mu}, D_{\mu}$ - соответственно средние значения и дисперсии времен между заявками в выходном потоке из СМО $GI/G/1/\infty$ и времени обслуживания. Тогда справедливы следующие аналитические выражения для определения $\bar{\tau}_{\text{вых}}, D_{\text{вых}}$ [106]:

$$\bar{\tau}_{\text{вых}} = \bar{\tau}_{\mu} + p'_0 \bar{\tau}'_{\lambda}, \quad (2.2)$$

$$D_{\text{вых}} = D_{\mu} + p'_0 D'_{\lambda} + p'_0(1-p'_0)(\bar{\tau}'_{\lambda})^2, \quad (2.3)$$

где p'_0 - вероятность того, что обслуженная заявка оставляет СМО пустой, $\bar{\tau}'_{\lambda}$ и D'_{λ} - среднее значение и дисперсия остаточного времени $\bar{\tau}'_{\lambda}$, в течение которого СМО ожидает поступления непосредственно следующей заявки, т.е. времени простоя СМО.

Рассмотрим моменты времени t_1 ухода очередной заявки из СМО и t_2 - ухода непосредственно следующей заявки. Случайная величина $\Delta = t_2 - t_1$ существенно зависит от состояния СМО в момент ухода очередной заявки. Если в момент времени t_1 СМО окажется занятой, то величина Δ будет равна времени обслуживания τ_{μ} непосредственно следующей заявки. Если же в этот момент времени t_1 СМО остается пустой, то Δ будет равна сумме времени обслуживания τ_{μ} и остаточного времени τ'_{λ} .

Тогда можем записать следующие выражения для случайной величины Δ и ее квадрата Δ^2 по аналогии с законом распределения вероятностей:

$$\Delta = \begin{cases} \tau_{\mu} & \text{с вероятностью } 1-p'_0 \\ (\tau_{\mu} + \tau'_{\lambda}) & \text{с вероятностью } p'_0, \end{cases}$$

$$\Delta^2 = \begin{cases} \tau_{\mu}^2 & \text{с вероятностью } 1-p'_0 \\ (\tau_{\mu} + \tau'_{\lambda})^2 & \text{с вероятностью } p'_0, \end{cases}$$

Отсюда переходя к математическому ожиданию и дисперсии величины Δ и учитывая, что $M(\tau_{\text{вых}}) = M(\Delta)$ и $D_{\text{вых}} = M(\Delta^2) - [M(\Delta)]^2$, после преобразований получим формулы (2.2) и (2.3). В стационарном режиме функционирования СМО $\bar{\tau}_{\text{вых}} = \bar{\tau}_\lambda$, где $\bar{\tau}_\lambda$ - среднее время между заявками во входном потоке. Тогда величины p'_0 и $\bar{\tau}'_\lambda$ связаны соотношением $p'_0 \bar{\tau}'_\lambda = p_0 \bar{\tau}_\lambda$, где $p_0 = 1 - \rho$ - вероятность отсутствия заявок в СМО, а $\rho = \lambda / \mu$ - коэффициент загрузки СМО. Тогда дисперсия $D_{\text{вых}}$ времени между заявками в выходном потоке будет зависеть только от двух неизвестных пока параметра D'_λ и p'_0 или D'_λ и $\bar{\tau}'_\lambda$. Таким образом выражение (2.3) представляет собой точную формулу для определения дисперсии выходного потока.

2.3 Уравнения равновесия потоков на основе математических моделей мультиплексирования и демультиплексирования потоков

В связи с тем, что на настоящий момент нет формулы для определения дисперсии времени между заявками в выходном потоке из СМО, в некоторых работах предлагаются приближенные формулы для дисперсии выходного потока. Например, в [82] используют для этого достаточно громоздкое выражение для квадрата коэффициента вариации времени между заявками в выходном потоке, полученное эмпирически.

Утверждение 2. Пусть мы имеем точку композиции потоков (точка А на рисунке 2.3), где сходятся два независимых потока заявок с параметрами: $\bar{\tau}_i = 1/\lambda_i$ ($i=1,2$) – среднее время между соседними заявками в потоке i , D_{τ_i} - дисперсия этого же времени.

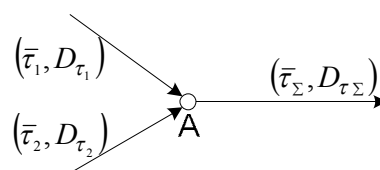


Рисунок 2.3 – Мультиплексирование потоков

Тогда среднее значение и дисперсия времени в суммарном потоке [106]

$$\bar{\tau}_{\Sigma} = \bar{\tau}_1 \bar{\tau}_2 / (\bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2), \quad (2.4)$$

$$D_{\tau_{\Sigma}} = (\lambda_1 / \lambda_{\Sigma})^3 D_{\tau_1} + (\lambda_2 / \lambda_{\Sigma})^3 D_{\tau_2}. \quad (2.5)$$

Пусть $N(t)$ означает число событий за время t . Тогда среднее $N(t)$: $\bar{N} = t / \bar{\tau}$, где $\bar{\tau}$ - среднее время между событиями в потоке $N(t)$. Так как дисперсия числа событий $N(t)$ при больших значениях t : $D_N = D_{\tau} \cdot t / \bar{\tau}^3$ [2], то для суммы двух независимых потоков $N_{\Sigma}(t) = N_1(t) + N_2(t)$ справедливы равенства: $1 / \bar{\tau}_{\Sigma} = 1 / \bar{\tau}_1 + 1 / \bar{\tau}_2$ - для среднего времени между соседними событиями в суммарном потоке и $D_{\tau_{\Sigma}} = (D_{\tau_1} / \bar{\tau}_1^3 + D_{\tau_2} / \bar{\tau}_2^3)$ - для дисперсии того же времени.

Из последних равенств уже следует справедливость выражений (2.4) и (2.5). Формулы (2.4) и (2.5) фактически являются математической моделью операции мультиплексирования (агрегирования) потоков. На основании равенств (2.4) и (2.5) легко доказывается справедливость утверждения о том, что сумма нескольких пуассоновских потоков даёт снова пуассоновский поток. Таким образом, формула (2.5) является точной для пуассоновских потоков.

Приведенные утверждения были проверены с помощью имитационного моделирования. Ниже приведены результаты такого моделирования для проверки справедливости выражений (2.4) и (2.5). При этом для каждой пары суммируемых законов распределений проводились серии из 5 испытаний, в каждом из которых генерировалось соответствующее количество заявок. Заявки генерировались по экспоненциальному, равномерному и нормальному законам распределений интервалов времени между заявками. Результаты моделирования приведены в таблице 2.1. Здесь через τ и D_{τ} обозначены теоретические моменты (среднее и дисперсия), а через $\bar{\tau}^*$ и S_{τ}^2 - соответствующие статистические оценки.

Таблица 2.1 - Результаты имитации формул (2.4) и (2.5)

$\bar{\tau}_1 / \bar{\tau}_1^*$	$D_{\tau_1} / S_{\tau_1}^2$	$\bar{\tau}_2 / \bar{\tau}_2^*$	$D_{\tau_2} / S_{\tau_2}^2$	$\bar{\tau}_\Sigma / \bar{\tau}_\Sigma^*$	$D_{\tau_\Sigma} / S_{\tau_\Sigma}^2$
Законы распределения – равномерный (0:1) и экспоненциальный $\lambda = 2$					
0,5/0,498	0,083/0,083	0,5/0,498	0,25/0,249	0,25/0,249	0,042/0,045
Законы распределения – экспоненциальные с параметром $\lambda = 2$					
0,5/0,502	0,25/0,250	0,5/0,499	0,25/0,249	0,25/0,251	0,0625/0,062
Законы распределения – равномерные (0:1)					
0,5/0,501	0,083/0,083	0,5/0,501	0,083/0,083	0,25/0,250	0,021/0,037

Данные таблицы 2.1 показывают, что формула (2.5) занижает дисперсию результирующего потока, следовательно, результаты моделирования могут быть более оптимистическими, чем при расчетах на уровне средних значений. Погрешность моделирования не превышает 5%.

Утверждение 3. Пусть мы имеем точку декомпозиции потока (точка В на рисунке 2.4), в которой заявки с вероятностью p уходят из потока 1 (просеянный поток 2, рисунок 2.4). Тогда среднее значение и дисперсия времени между соседними событиями в просеянном потоке 2 [106,116]

$$\bar{\tau}_p = \bar{\tau} / p, \quad (2.6)$$

$$D_{\tau_p} = \frac{1}{p} \left(D_\tau + \frac{1-p}{p \cdot \lambda^2} \right). \quad (2.7)$$

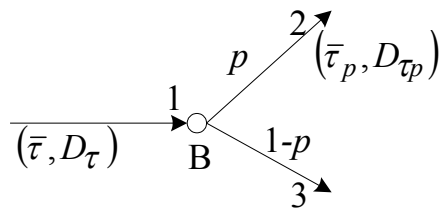


Рисунок 2.4 – Демультимплексирование потока

Представим поток событий с параметрами $(\bar{\tau}, D_\tau)$, где $\bar{\tau}, D_\tau$ - среднее значение и дисперсия времени между соседними событиями, как

последовательность случайных точек на оси времени $0t$. Пусть интервалы между ними равны соответственно $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots$. Интервал времени между соседними точками в просеянном потоке 2 будет равен τ_1 , если точки t_1 и t_2 с потока 1 с вероятностью p будут перенесены на поток 2. Этот интервал будет равен $(\tau_1 + \tau_2)$, если точка t_2 с потока 1 будет перенесена на поток 2, а точка t_3 – нет (остается в потоке 3). Следовательно, наполовину просеянный поток пойдет по направлению 3. Аналогично $(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)$, $(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4)$ и т.д. Таким образом, случайная величина τ_p равна: τ_1 - с вероятностью p ; $(\tau_1 + \tau_2)$ - с вероятностью pq ; $(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)$ - с вероятностью pq^2 и т.д. Запишем выражение для величины τ_p следующим образом:

$$\tau_p = \begin{cases} \tau_1 & \text{с вероятностью } p, \\ (\tau_1 + \tau_2) & \text{с вероятностью } pq, \\ (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) & \text{с вероятностью } pq^2, \\ \dots & \dots \\ (\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_i) & \text{с вероятностью } pq^{i-1}, \end{cases}$$

Здесь мы имеем дело с геометрическим распределением вероятностей.

Определим математическое ожидание величины τ_p [106].

$$\begin{aligned} M(\tau_p) &= M(\tau) \cdot p \sum_{i=1}^{\infty} i q^{i-1} = p M(\tau) (q + q^2 + q^3 + \dots)'_q = \\ &= p M(\tau) [q / (1 - q)]'_q = p M(\tau) \cdot / (1 - q)^2 = \bar{\tau} / p. \end{aligned}$$

Для определения дисперсии D_{τ_p} вычислим второй начальный момент

$M(\tau_p^2)$.

$$\begin{aligned} M(\tau_p^2) &= p \sum_{k=1}^{\infty} [k \cdot M(\tau^2) + (k^2 - k) \cdot (M(\tau))^2] \cdot q^{k-1} = p \cdot \sum_{k=1}^{\infty} [k \cdot D_{\tau} + k^2 \cdot (M(\tau))^2] \cdot q^{k-1} = \\ &= p \cdot D_{\tau} \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot q^{k-1} + p \cdot (M(\tau))^2 \sum_{k=1}^{\infty} k^2 \cdot q^{k-1} = D_{\tau} / p + (1 + q) \cdot (M(\tau))^2 / p^2. \end{aligned}$$

Здесь вероятность $q = 1 - p$.

Из полученных равенств для выражений $M(\tau_p^2)$ и $M(\tau_p)$ следует справедливость формул (2.6) и (2.7). Формулы (2.6) и (2.7) представляют собой математическую модель операции демультиплексирования агрегированного потока.

Полученное из формулы (2.6) выражение для квадрата коэффициента вариации просеянного потока $c_p^2 = p \cdot c^2 + q$ позволяет судить о характере распределения этого потока. Как видно из последнего выражения, разрежение исходного потока существенно влияет на его закон распределения. При этом пуассоновский поток сохраняет свое свойство.

Приведенные выше утверждения не сложно также проверить с помощью имитационного моделирования. Ниже приведены результаты такого моделирования для проверки справедливости выражений (2.6) и (2.7). При этом для отдельного из применяемых законов распределений проводились серии из 5 испытаний, в каждом из которых генерировались по 10000 заявок. Заявки генерировались по экспоненциальному, равномерному и нормальному законам распределений интервалов времени между заявками. Результаты моделирования для вероятностей $p=0,2$ и $q=0,8$ приведены в таблице 2.2. Здесь через τ и D_τ обозначены теоретические моменты (среднее и дисперсия), а через $\bar{\tau}^*$ и S_τ^2 - соответствующие статистические оценки.

Таблица 2.2 - Результаты имитации формул (2.6) и (2.7) для $p=0,2$ и $q=0,8$

$\bar{\tau} / \bar{\tau}^*$	D_τ / S_τ^2	$\bar{\tau}_p / \bar{\tau}_p^*$	$D_{\tau p} / S_{\tau p}^2$	$\bar{\tau}_q / \bar{\tau}_q^*$	$D_{\tau q} / S_{\tau q}^2$
Закон распределения – экспоненциальный с параметром $\lambda=0,5; p=0,2; q=0,8$					
2,0/1,999	4,0/3,974	10,0/10,178	100,0/99,357	2,5/2,503	6,25/6,217
Закон распределения – равномерный с параметрами $a=1, b=3; p=0,2; q=0,8$					
2,0/2,002	0,333/0,336	10,0/9,977	81,665/81,660	2,5/2,504	1,666/1,666
Закон распределения – нормальный с параметрами $m_\tau=2, \sigma_\tau=0,5; p=0,2; q=0,8$					
2,0/1,994	0,25/0,251	10,0/10,034	81,25/82,215	2,5/2,49	1,5625/1,586

Как видно из таблицы 2.2, результаты имитационного моделирования полностью подтверждают справедливость утверждения 3. Погрешность моделирования не превышает 5%.

Формулы мультиплексирования потоков для законов (кроме экспоненциального) являются приближенными. Это связано с тем, что формула сложения дисперсий занижает дисперсию суммарного потока (таблица 2.1). В итоге мы получаем несколько заниженные результаты по основным характеристикам, кроме загрузки. При мультиплексировании двух потоков, в которых интервалы времени между событиями распределены по экспоненциальному закону, получаем снова поток, в котором интервалы времени между событиями распределены по экспоненциальному закону, т.е. полученные значения дисперсий совпадают точно (рисунок 2.5).

При суммировании потоков, в которых интервалы времени между событиями распределены по равномерному (0,1) и экспоненциальному ($\lambda=2$) законам, также наблюдаем точное совпадение дисперсий согласно таблице 2.1 (рисунок 2.6).

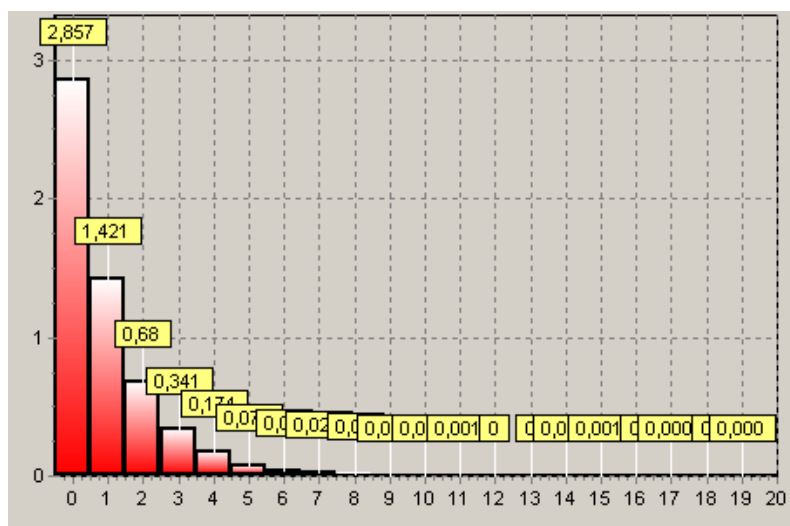


Рисунок 2.5 – Гистограмма распределения интервалов времени в суммарном потоке. (Составляющие распределены по экспоненциальному закону ($\lambda=2$))

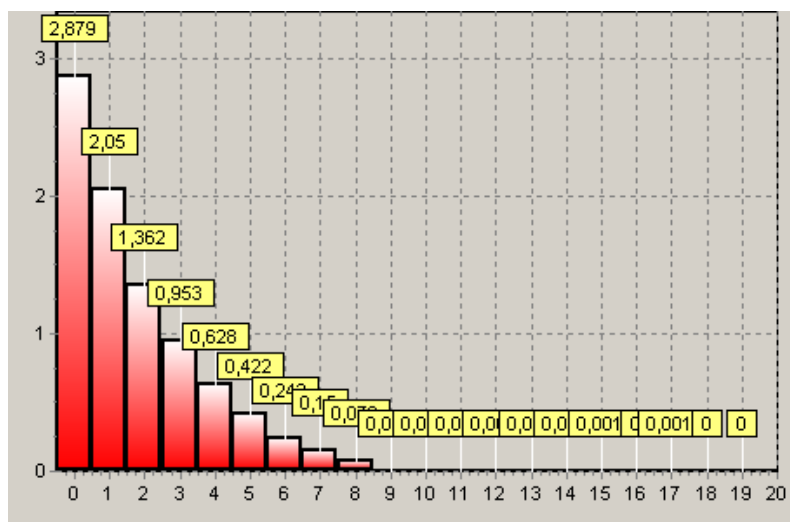


Рисунок 2.6 – Гистограмма распределения интервалов времени в суммарном потоке. (Составляющие распределены по равномерному $(0,1)$ и экспоненциальному $(\lambda=2)$ законам)

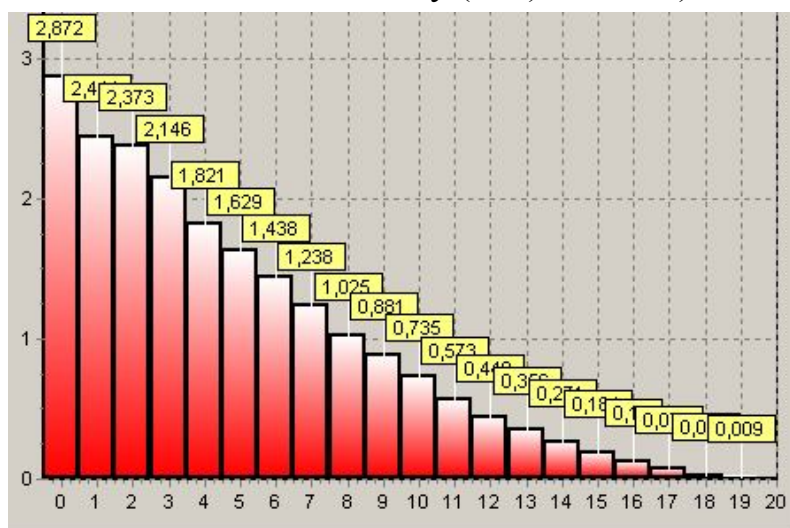


Рисунок 2.7 – Гистограмма распределения интервалов времени в суммарном потоке. (Составляющие распределены по равномерному закону $(0,1)$)

В случае, когда суммируем два потока, в которых интервалы времени между событиями распределены по равномерному закону $(0,1)$, получаем занижение дисперсии суммарного потока (таблица 2.1).

При демультиплексировании потока, в котором интервалы времени между событиями распределены по экспоненциальному закону – получаем снова поток событий, в котором интервалы времени между событиями распределены по экспоненциальному закону, но уже с другим параметром (рисунок 2.8, 2.9).

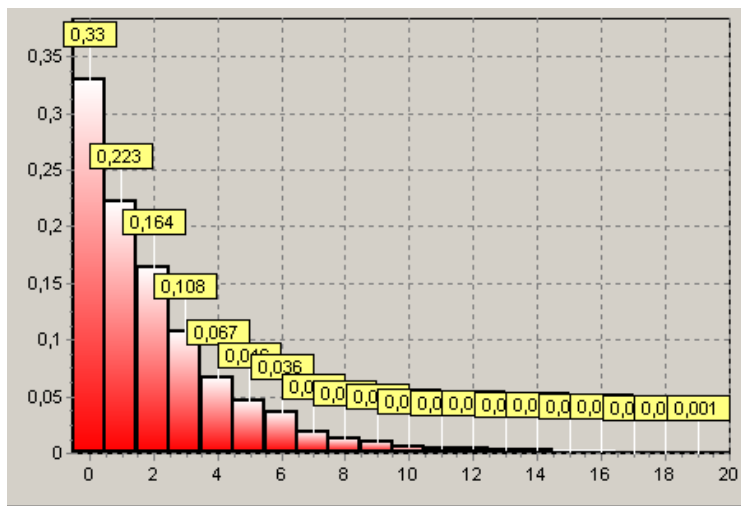


Рисунок 2.8 – Гистограмма распределения интервалов времени в разреженном потоке. (Входной поток распределен по экспоненциальному закону ($\lambda=2, p=0,2$))

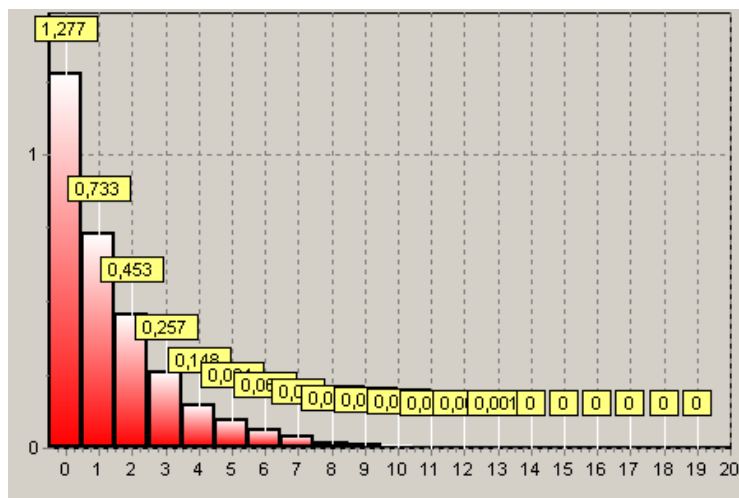


Рисунок 2.9 – Гистограмма распределения интервалов времени в разреженном потоке. (Входной поток распределен по экспоненциальному закону ($\lambda=2, p=0,8$))

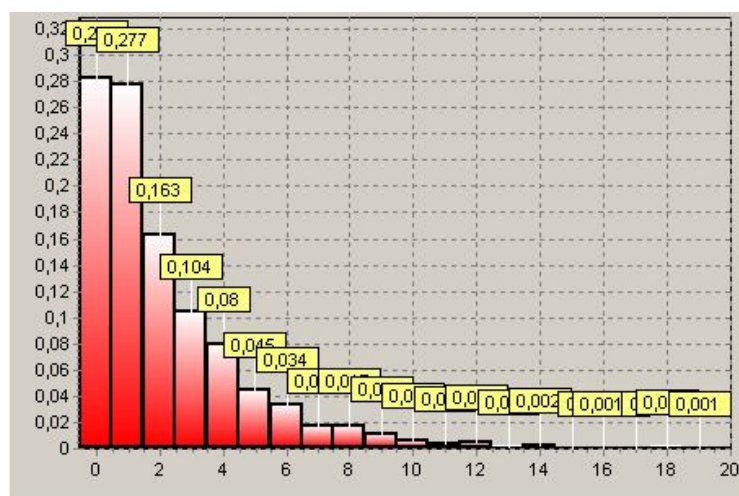


Рисунок 2.10 – Гистограмма распределения интервалов времени в разреженном потоке. (Входной поток распределен по равномерному закону ($0,1 p=0,2$))

При демультиплексировании потока, в котором интервалы времени между событиями распределены по равномерному закону, разрежение исходного потока существенно влияет на закон распределения интервалов времени (рисунок 2.10, 2.11).

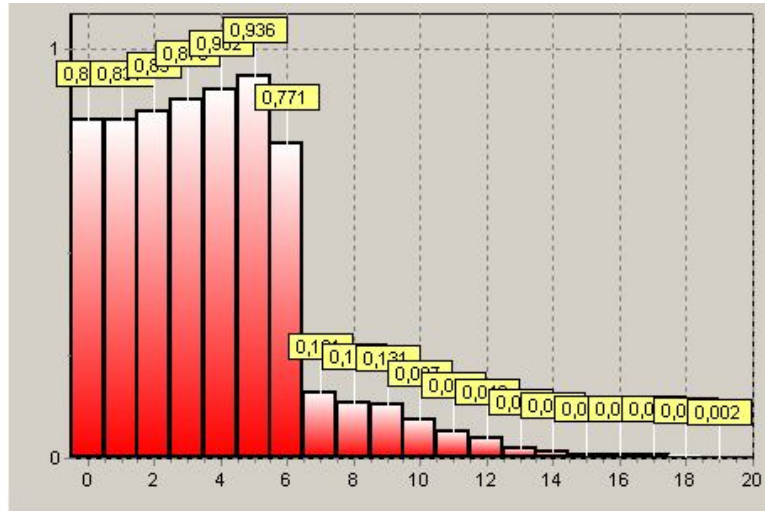


Рисунок 2.11 – Гистограмма распределения интервалов времени в разреженном потоке. (Входной поток распределен по равномерному закону ($0,1$ $p=0,8$))

При демультиплексировании потока, в котором интервалы времени между событиями распределены по нормальному закону, разрежение исходного потока также существенно влияет на его закон распределения (рисунок 2.12, 2.13).

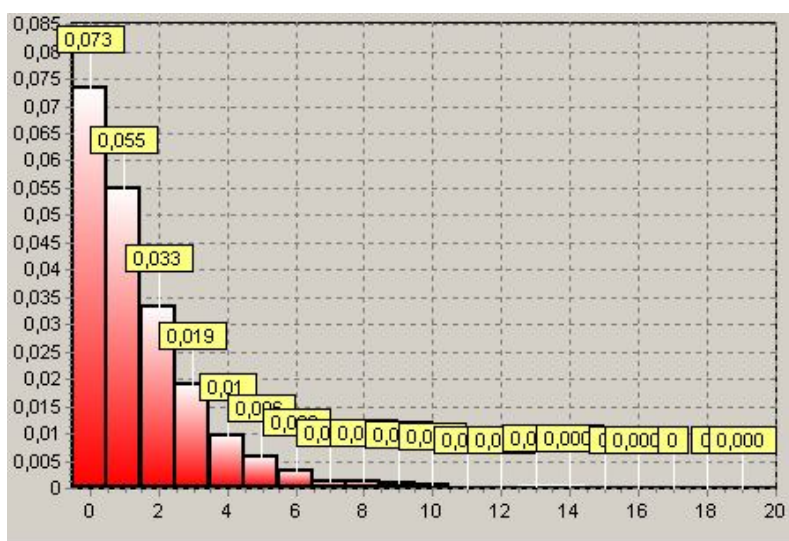


Рисунок 2.12 – Гистограмма распределения интервалов времени в разреженном потоке. (Входной поток распределен по нормальному закону ($m_x=2$, $\sigma = 0,5$; $p=0,2$))

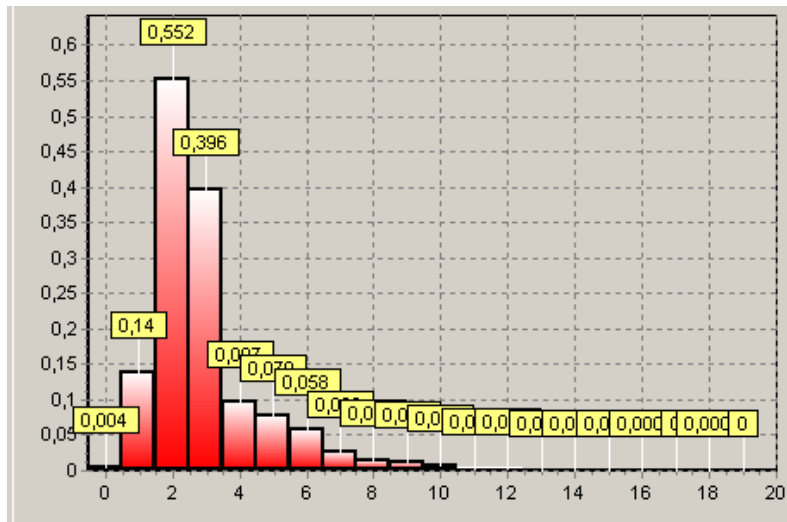


Рисунок 2.13 – Гистограмма распределения интервалов времени в разреженном потоке. (Входной поток распределен по нормальному закону ($m_x = 2, \sigma = 0,5; p=0,8$))

Используя формулы (2.4) и (2.5) для суммы потоков на входе i -ой СМО, дисперсию интервалов времени между соседними заявками в суммарном входном потоке в стационарном режиме можно выразить через известные параметры сети и дисперсии $D_{выхj}$ выходных потоков j -ой СМО сети ($i, j=1, \dots, n$) (рисунок 2.2) [106].

$$D_{exi} = \left(\frac{\lambda_{0i}}{\lambda_i} \right)^3 D_{0i} + \sum_{j=1}^n \left(\frac{\lambda_j}{\lambda_i} \right)^3 \cdot p_{ji}^2 \left[D_{выхj} + \frac{1 - p_{ji}}{p_{ji} \cdot \lambda_j^2} \right], \quad \left(\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_{0i} \right)$$

(2.8) Подставляя в (2.8) выражение (2.3) дисперсий выходных потоков через параметры сети и входных потоков, получаем уравнения равновесия для дисперсий интервалов времени между заявками в потоках на входе каждой СМО сети – уравнения (2.9), аналогично уравнениям равновесия (баланса) интенсивностей (2.1).

Тогда решение уравнений (2.1), (2.8) совместно с (2.3) будет осуществлять декомпозицию сетей МО на отдельные узлы на уровне двух первых моментов распределений вероятностей, т.е. позволяет определить характеристики распределения интервалов времени между заявками в потоках, циркулирующих в сети. Поскольку уравнения (2.8) не позволяют сразу

получить значения дисперсий D_{exi} , то очевидным представляется следующая итерационная процедура их определения с любой наперёд заданной точностью.

В качестве первого приближения воспользуемся заменой $p'_0 = p_0, \bar{\tau}'_\lambda = \bar{\tau}_\lambda, D'_\lambda = D_\lambda$ в формуле (2.3), где $p_0 = 1 - \rho, \bar{\tau}_\lambda = \lambda^{-1}$, а D_λ - дисперсия величины τ_λ . Такая замена в случае экспоненциальной сети (сети Джексона) не вносит погрешности. Тогда уравнения (2.8) становятся линейными относительно искомым дисперсий [106,116]:

$$D_{\text{exi}} = c_i + \sum_{j=1}^n c_{ji} D_{\text{exj}}, \quad (2.9)$$

где

$$c_i = \left(\frac{\lambda_{0i}}{\lambda_i} \right)^3 D_{0i} + \sum_{j=1}^n \left(\frac{\lambda_j}{\lambda_i} \right)^3 \cdot p_{ji}^2 \cdot \left(D_{\mu j} + \frac{1 - p_{ji}}{p_{ji} \cdot \lambda_j^2} + \frac{p_{0j}}{\lambda_j \cdot \mu_j} \right),$$

$$c_{ji} = \left(\frac{\lambda_j}{\lambda_i} \right)^3 p_{ji}^2 \cdot p_{0j}, \quad (i, j = 1, \dots, n).$$

Предлагаемая итерационная процедура будет состоять из следующих шагов:

1. Решением систем линейных алгебраических уравнений (2.1) и (2.9) определяем средние значения $\bar{\tau}_{\lambda i}$ и дисперсии D_{exi} интервалов времени между соседними заявками во входных потоках для каждой СМО сети массового обслуживания.

2. Используя значения $\bar{\tau}_{\lambda i}$ и D_{exi} для $i=1, \dots, n$, применяем метод двумерного диффузионного приближения [19,42,48,49,50,53,61,62,67,71,74,76,78,95, 96,97,98,99,100] для нахождения дисперсий времени между соседними заявками в выходном из i -ой СМО потоке по формуле (2.3), уточнив тем самым значения D_{exi} .

3. Подставляем полученные значения D_{exi} в систему (2.8) и повторяем шаг 2) в случае необходимости.

При решении некоторых частных задач из области сетевых технологий, а именно при определении загрузки каналов или других ресурсов сети, а также при определении межконцевых задержек «источник-адресат» в сетях пакетной коммутации, матрица вероятностей передач $P=\{p_{ij}\}$ ($i,j=1,\dots,n$) будет содержать только значения $p_{ij}=1$ (остальные элементы матрицы P нулевые). В связи с этим, уравнения (2.1), (2.8) и (2.9) в таком случае значительно упростятся.

Уравнения равновесия (2.1) и (2.8) получены для случая СМО $GI/G/1/\infty$. В более общем случае, когда сетевая модель может включать узлы с ограничениями на объемы канальных буферов (СМО $GI/G/1/K$ с потерями), уравнения (2.1) и (2.8) ниже будут модифицированы. Они будут модифицированы также в случае рассмотрения моделей сетей ЭВМ с неоднородным трафиком.

2.4 Модификация уравнений равновесия потоков для исследования сетей с ограниченной буферной памятью

В предыдущем пункте были рассмотрены сети массового обслуживания (МО), включающие только узлы с бесконечной очередью (без потерь). Рассмотрим теперь случай, когда сетевая модель включает также узлы с конечной очередью и потерями (рисунок 2.14) [63,65,69,72,73,107].

Тогда в сетевой модели будут циркулировать также потоки отказов (избыточные потоки), вследствие чего в уравнениях баланса потоков (2.10) и (2.16) появятся дополнительные слагаемые. Для этого необходимо определить характеристики избыточного потока аналогично характеристикам выходного потока.

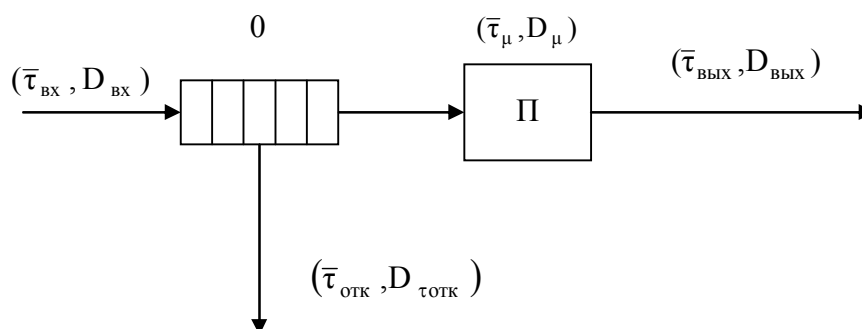


Рисунок 2.14 - Структура обслуживающего прибора

Интенсивность потока отказов может быть определена по формуле

$$\lambda_{отк} = p_{отк} \cdot \lambda_{вх}, \quad (2.10)$$

где $p_{отк}$ – вероятность потери заявки вычисляется по методу двумерной диффузионной аппроксимации процессов функционирования СМО [1,2], как и другие характеристики. Отсюда среднее время между заявками в потоке отказов может быть определено по формуле

$$\bar{\tau}_{отк} = 1/\lambda_{отк}. \quad (2.11)$$

С другой стороны, на основании баланса интенсивностей потоков на входе и выходе узла следует

$$\bar{\tau}_{отк} = \bar{\tau}_{вх} \cdot \bar{\tau}_{вых} / (\bar{\tau}_{вых} - \bar{\tau}_{вх}). \quad (2.12)$$

Этот факт может быть учтен для контроля вычислений.

Для определения дисперсии $D_{\tau_{отк}}$ времени между соседними заявками в потоке отказов, воспользуемся результатами, полученными при выводе формулы (2.6) в предыдущем пункте. Тогда

$$D_{\tau_{отк}} = \frac{1}{p_{отк}} \left(D_{вх} + \frac{1 - p_{отк}}{p_{отк} \cdot \lambda_{вх}^2} \right), \quad (2.13)$$

где $\lambda_{вх}$ – интенсивность входного потока ($\lambda_{вх} = \bar{\tau}_{вх}^{-1}$), а $D_{вх}$ – дисперсия времени между заявками во входном потоке.

Сказанное выше позволяет записать уравнения баланса потоков, циркулирующих в стохастической сети на уровне средних значений и дисперсий времени между заявками в потоках [107]:

$$\lambda_{i \text{ вх}} = \bar{\tau}_{oi}^{-1} + \sum_{j=1}^n p_{ji} \lambda_{j \text{ вых}} + \sum_{j=1}^n q_{ji} \lambda_{j \text{ отк}}, \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} D_{i \text{ вх}} = & \left(\frac{\lambda_{oi}}{\lambda_{i \text{ вх}}} \right)^3 D_{oi} + \sum_{j=1}^n \left(\frac{\lambda_{j \text{ вых}}}{\lambda_{i \text{ вх}}} \right)^3 p_{ji}^2 \left(D_{j \text{ вых}} + \frac{1 - p_{ji}}{p_{ji} \cdot \lambda_{j \text{ вых}}^2} \right) + \\ & + \sum_{j=1}^n \left(\frac{\lambda_{j \text{ отк}}}{\lambda_{i \text{ вх}}} \right)^3 q_{ji}^2 \left(D_{j \text{ отк}} + \frac{1 - q_{ji}}{q_{ji} \cdot \lambda_{j \text{ отк}}^2} \right), \end{aligned} \quad (2.15)$$

где $\bar{\tau}_{0i} = 1/\lambda_{0i}$ и D_{0i} – среднее и дисперсия времени между заявками в потоке, идущем от внешнего источника на вход i -го узла, λ - интенсивность соответствующего потока (входного, выходного и потока отказов), D – дисперсия времени между соседними заявками соответствующего потока, p_{ji} – вероятность передачи заявки от j -го узла к i -му, q_{ji} – вероятность передачи заявок из потока отказов от j -го узла к i -му, а n - количество узлов в сетевой модели.

Тогда уравнения баланса потоков (2.1) и (2.7) предыдущего раздела будут частными случаями уравнений (2.14) и (2.15) соответственно в случае отсутствия в сетевой модели узлов с конечной очередью и потерями.

Итерационная процедура декомпозиции такой сетевой модели отличается от предыдущей следующим образом. На первом шаге все узлы сетевой модели будем считать как СМО с бесконечной очередью и выполняем шаг 1 процедуры предыдущего раздела. На втором шаге, кроме того, что было в предыдущей итерации, используя формулы (2.11)–(2.13) находим характеристики $\bar{\tau}_{отк}$ и $D_{\tau_{отк}}$ потока отказов. На третьем шаге с помощью формул (2.14) и (2.15) уточняем $\lambda_{ивх}$ и $D_{ивх}$ и повторяем шаг 2 в случае необходимости.

2.5 Модификация уравнений равновесия для исследования сетей ЭВМ с неоднородным трафиком

Рассмотрим бесприоритетную дисциплину обслуживания FCFS (первым пришел - первым обслужен). Под неоднородностью трафика будем подразумевать многомерность потока заявок и различие маршрутов движения для каждого типа заявок. Такой трафик характерен для сетей ЭВМ с неоднородным трафиком. Пусть от внешнего источника S_0 в сеть (на вход i -ой СМО) поступает многомерный поток заявок с интенсивностями $\lambda_{0i}^{(m)}$ и дисперсиями $D_{0i}^{(m)}$ для каждого типа заявок m ($m=1, \dots, M; i=1, \dots, n$). Вначале рассмотрим случай, когда сетевая модель характеризуется одной общей

матрицей вероятностей передач заявок для всех типов $P=\{p_{ij}\}$ ($i,j=1, \dots,n$). Составим уравнения баланса интенсивностей потоков заявок для каждого типа m на входе и выходе каждой СМО сети, аналогично (2.14) [107]

$$\lambda_i^{(m)} = \lambda_{0i}^{(m)} + \sum_{j=1}^n p_{ji} \lambda_j^{(m)} \quad (2.16)$$

Решением систем линейных алгебраических уравнений (2.16), можно определить интенсивности потоков типа m на входе и выходе каждой СМО сети $\lambda_i^{(m)}$. Тогда коэффициент загрузки системы S_i потоком типа m будет составлять $\rho_i^{(m)} = \lambda_i^{(m)} / \mu_i^{(m)}$, где $\mu_i^{(m)}$ - интенсивность обслуживания заявки типа m в системе S_i . Суммарная загрузка системы S_i со стороны всех потоков будет $\rho_{i\Sigma} = \sum_{m=1}^M \rho_i^{(m)}$. Тогда условие существования стационарного режима представится в виде $\rho_{i\Sigma} < 1$ ($i=1, \dots, n$) и коэффициент простоя системы S_i : $q_i = 1 - \rho_{i\Sigma}$.

Параметры потоков заявок из множества заявок типа m усредним с целью приведения неоднородного потока к однородному. Эти параметры будут описывать так называемую «усредненную» заявку. При этом должно соблюдаться условие, чтобы однородный поток заявок на обслуживание усредненной заявки создавал такую же нагрузку на каждую СМО сети, как и неоднородный поток. Поэтому параметры этого потока определим посредством усреднения их по интенсивностям поступления $\lambda_i^{(m)}$. Тогда интенсивность поступления потока усредненных или обобщенных заявок на вход i -ой СМО

$$\lambda_i^{об} = \sum_{m=1}^M \lambda_i^{(m)}, \quad (2.17)$$

а среднее время обслуживания обобщенной заявки [107]

$$\bar{\tau}_{\mu i}^{об} = \sum_{m=1}^M (\lambda_i^{(m)} / \mu_i^{(m)}) \lambda_i^{об}, \quad (2.18)$$

где $\mu_i^{(m)} = 1/\bar{\tau}_{\mu i}^{(m)}$ ($i=1, \dots, n$).

Используя выражения (2.17) и (2.18) получим, что коэффициент загрузки i -ой СМО потоком обобщенных заявок ρ_i^{ob} составит

$$\rho_i^{ob} = \lambda_i^{ob} \cdot \bar{\tau}_{\mu i}^{ob} = \sum \lambda_i^{(m)} / \mu_i^{(m)} = \rho_{i\Sigma}.$$

Следовательно, однородный поток обобщенных заявок создает ту же нагрузку, что и неоднородный поток.

В силу такого определения однородного потока обобщенных заявок можно записать уравнения баланса интенсивностей однородного потока и дисперсии времени между соседними обобщенными заявками на входе и выходе каждой СМО сети аналогично (2.14) и (2.15) [107]

$$\lambda_i^{ob} = \lambda_{0i}^{ob} + \sum_{j=1}^n p_{ji} \cdot \lambda_j^{ob}, \quad (2.19)$$

где $\lambda_{0i}^{ob} = \sum_{m=1}^M \lambda_{0i}^{(m)}$.

Очевидно, что решение системы (2.19) совпадает с решением (2.16). Аналогично уравнения равновесия для дисперсии будут иметь вид

$$D_{ex}^{ob} = \left(\frac{\lambda_{0i}^{ob}}{\lambda_i^{ob}} \right)^3 D_{0i}^{ob} + \sum_{m=1}^n \left(\frac{\lambda_j^{ob}}{\lambda_i^{ob}} \right)^3 p_{ji}^2 \left[D_{выхj}^{ob} + \frac{1 - p_{ji}}{p_{ji} (\lambda_j^{ob})^2} \right], \quad (2.20)$$

где $\lambda_0^{ob} = \sum \lambda_{0i}^{ob}$, $D_{0i}^{ob} = \sum (\lambda_{0i}^{(m)} / \lambda_{0i}^{ob})^3 D_{0i}^{(m)}$.

В выражении (2.20) значения выходных дисперсий $D_{выхj}^{ob}$ будут определяться по методу двумерной диффузионной аппроксимации с одной лишь разницей, что дисперсия времени обслуживания обобщенной заявки будет равна [107]

$$D_{\mu i}^{ob} = \sum_{j=1}^n \left[D_{\mu i}^{(m)} \cdot \lambda_i^{(m)} / \lambda_i^{ob} + (\bar{\tau}_{\mu i}^{(m)} - \bar{\tau}_{\mu i}^{ob})^2 \cdot \lambda_i^{(m)} / \lambda_i^{ob} \right],$$

где $\bar{\tau}_{\mu i}^{(m)}$ и $D_{\mu i}^{(m)}$ - среднее значение и дисперсия времени обслуживания заявки типа m в i -ой СМО. Тогда итерационная процедура расчета сети с

неоднородным потоком заявок будет такая же, что и для однородного потока, описанная ранее. В том случае, когда маршруты движения в сети для заявок из разных потоков различны и описываются матрицами вероятностей передач $\mathbf{P}^{(m)} = \{p_{ij}^{(m)}\}$, в формуле (2.16) вместо значений p_{ji} нужно брать $p_{ji}^{(m)}$. А в формулах (2.19) и (2.20) вместо p_{ji} - значения $p_{ij}^{ob} = \sum_{m=1}^M p_{ij}^{(m)} \cdot \lambda_j^{(m)} / \lambda_j^{ob}$ обобщенной матрицы вероятностей передач. Это следует из условия нормировки матрицы для потока обобщенных заявок.

Выводы

1. Получены и исследованы аналитические модели мультиплексирования и демуплексирования потоков событий на уровне их средних значений и дисперсий распределения времени между событиями.

2. На основе указанных моделей совместно с аналитическими выражениями для определения характеристик выходного потока и потока отказов на уровне средних значений и дисперсий распределений времени между заявками в потоках получены уравнения равновесия потоков в сетях МО.

3. Предложена итерационная процедура расчета временных характеристик всех потоков сети на уровне средних значений и дисперсий на основе определения временных характеристик выходных и избыточных потоков отдельных узлов сетевой модели.

4. Указанный метод декомпозиции сетевых моделей на отдельные узлы развит для анализа сетевых моделей с неоднородным трафиком.

3 Моделирование сети оренбургского филиала Центробанка РФ

3.1 Описание форматов электронных сообщений для подготовки отчетности кредитными организациями

Форматы сбора и обработки отчетности представляют собой единые форматы электронных сообщений, предназначенные для представления кредитными организациями в учреждения Банка России регламентированных форм отчетности [85,86].

Унифицированные форматы электронных банковских сообщений (УФЭБС) представляют собой единые по всей территории России форматы электронных сообщений, предназначенные для электронного обмена учреждений Банка России с кредитными организациями и другими клиентами Банка России, расположенными на территории Российской Федерации, при осуществлении безналичных расчетов в валюте Российской Федерации.

Основными целями разработки УФЭБС являются стандартизация способов и средств взаимодействия между автоматизированными системами различных разработчиков, используемыми в расчетной системе Банка России для осуществления безналичных расчетов на территории Российской Федерации и взаимодействия с ней, упрощение существующих форматов электронных сообщений, переход к современным стандартам обмена коммерческой информацией в электронном виде.

Полное описание взаимодействия кредитных организаций и других клиентов с Банком России приведено в документе "Унифицированные форматы электронных банковских сообщений для безналичных расчетов. Обмен с кредитными организациями и другими клиентами Банка России" [85]. Данный документ содержит описание принципов построения интерфейсов обмена, перечень и форматы электронных документов, используемых в обмене, типовые схемы взаимодействия, соответствующие термины и определения, а

также требования по защите электронных сообщений. Данный документ распространяется официальным письмом Банка России в кредитные организации и клиентам Банка России.

Формализованное описание структуры УФЭБС разработано в виде набора XML-схем, которые являются неотъемлемой частью описания УФЭБС. Для XML-документов и XML-схем определены пространства имен, согласно рекомендации.

Не полный перечень архивных файлов, применяемых для подготовки форм отчетности, представляемых в виде электронных сообщений приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Перечень архивных файлов, применяемых для подготовки форм отчетности

Архив описателей	Номер формы	Название формы
F024.ZIP	409024	Сведения о заключении договора на проведение ежегодной аудиторской проверки кредитной организации, банковской (консолидированной) группы
F051-F05.ZIP	409051	Список аффилированных лиц
	409052	Список аффилированных лиц, принадлежащих к группе лиц, к которой принадлежит кредитная организация
F070.ZIP	409070	Сведения об использовании кредитной организацией интернет-технологий
F101.ZIP	409101	Оборотная ведомость по счетам бухгалтерского учета кредитной организации
F101D.ZIP	409101	Оборотная ведомость по счетам бухгалтерского учета кредитной организации по требованию Московского ГТУ Банка России на ежедневной основе
F101E.ZIP	409101	Оборотная ведомость по счетам бухгалтерского учета кредитной организации в рамках эксперимента на ежедневной основе в рублях и копейках
F101S1.ZIP	409101	Оборотная ведомость по счетам бухгалтерского учета кредитной организации. Отчет Среднерусского банка Сбербанка РФ с учетом подчиненных филиалов
F101S3.ZIP	409101	Оборотная ведомость по счетам бухгалтерского учета кредитной организации. Отчет структурно подчиненного филиала Среднерусского банка Сбербанка РФ
F102.ZIP	409102	Отчет о прибылях и убытках кредитной организации
F110.ZIP	409110	Расшифровки отдельных балансовых счетов и символов отчета о прибылях и убытках для формирования бухгалтерского баланса (публикуемая форма), отчета о прибылях и убытках (публикуемая форма) и расчета показателей, используемых для оценки финансовой устойчивости кредитных организаций
F115.ZIP	409115	Информация о качестве ссуд, ссудной и приравненной к ней задолженности
F118.ZIP	409118	Данные о крупных кредитах
F125.ZIP	409125	Сведения об активах и пассивах по срокам востребования и погашения

Файл электронного образа отчета имеет следующую структуру:

```
<ОТЧЕТ> :=  
    <ЗАГОЛОВОК_ОТЧЕТА>  
    <ФОРМА>      }  
    ...          } произвольное количество форм  
    <ФОРМА>      }  
    <ОКОНЧАНИЕ_ОТЧЕТА>
```

```
<ЗАГОЛОВОК_ОТЧЕТА> :=  
    BEGIN_REPORT КОД_ОТЧЕТА ОТЧЕТНАЯ_ДАТА  
    ДАТА_ФОРМИРОВАНИЯ_В_БАНКЕ  
    ВРЕМЯ_ФОРМИРОВАНИЯ_В_БАНКЕ ВЕРСИЯ_ПО  
    РЕГ_НОМЕР_БАНКА НАЗВАНИЕ_БАНКА <ВК/ПС>.
```

Где BEGIN_REPORT - ключевое слово; КОД_ОТЧЕТА - общесистемный буквенный код вида отчета; ОТЧЕТНАЯ_ДАТА - дата, на которую представляются отчетные данные в формате dd.mm.yyyy, например, значение этого поля 01.04.1998 означает, что отчетные данные представлены на 1 апреля 1998 года; ДАТА_ФОРМИРОВАНИЯ_В_БАНКЕ - дата формирования отчета в кредитной организации в формате dd.mm.yyyy; ВРЕМЯ_ФОРМИРОВАНИЯ_В_БАНКЕ - время формирования отчета в кредитной организации в формате hh:mm; ВЕРСИЯ_ПО - дата и время формирования описаний отчетов в формате dd.mm.yyyy:hh:mm; РЕГ_НОМЕР_БАНКА - регистрационный номер кредитной организации (формат представления см. ниже); НАЗВАНИЕ_БАНКА - краткое наименование кредитной организации (продолжается до конца строки).

```
<ФОРМА> :=  
    <ЗАГОЛОВОК_ФОРМЫ>  
    СТРОКА_ФОРМЫ_1 }  
    ...             } произвольное количество строк
```

СТРОКА_ФОРМЫ_N]

<ОКОНЧАНИЕ_ФОРМЫ>

<ЗАГОЛОВОК_ФОРМЫ> := BEGIN_FORM <КОД_ФОРМЫ>[[
<ТИП_ФОРМЫ>] <СПИСОК_ИМЕН_ПОЛЕЙ_ФОРМЫ>]

Где BEGIN_FORM - ключевое слово; <КОД_ФОРМЫ> - общесистемный код формы, например F603M, максимальная длина - 10 символов; <ТИП_ФОРМЫ> - формат строки формы, может принимать значения: пусто - <символ> <значение>; FULL - поля строки отчета разделяются символом ‘,’; <СПИСОК_ИМЕН_ПОЛЕЙ_ФОРМЫ> - перечень имен (кодов) полей формы, разделенных запятыми; СТРОКА_ФОРМЫ i - строка формы отчета.

Основные правила описания строк формы (отчета) следующие:

- строка состоит из значений в соответствии с описанием граф указанной формы;

- строки заканчиваются символами перевода ВК, ПС;

- содержимое графы (значение) заключается в двойные кавычки (“”);

- разделителем содержимого граф является запятая (,);

- если значения граф являются дробными, разделителем является точка;

- значения, относящиеся к одной строке формы, не переносятся на следующую строку файла отчета;

- если форма описана в виде блоков, в конце каждой строки стоят три служебных символа, заключенных в кавычки: первый символ означает порядковый номер блока строк, второй символ – порядковый номер строки в блоке, третий символ – номер строки, к которой относится подстрока (в этом случае второй символ становится равным 0).

<ОКОНЧАНИЕ_ФОРМЫ> := END_FORM <КОД_ФОРМЫ>

<КС_ФОРМЫ>

END_FORM - ключевое слово;

<КОД_ФОРМЫ> - общесистемный код формы, например F603M;

КС_ФОРМЫ - контрольная сумма формы;
<ОКОНЧАНИЕ_ОТЧЕТА> := END_REPORT КС_ОТЧЕТА

END_REPORT - ключевое слово;

КС_ОТЧЕТА - контрольная сумма отчета;

3.2 Моделирование сети Оренбургского филиала Центробанка РФ

Далее будет рассмотрена математическая модель неоднородного трафика одной сети. На основе этой модели с использованием методов уравнений баланса потоков в сети и двумерной диффузионной аппроксимации процессов функционирования СМО, реализованных в системе моделирования сетей с неоднородным трафиком PROBMOD, а также системы моделирования GPSS World, получим основные показатели производительности сети [44,83].

С 2006 г. Центробанк перешел на технологию коллективной обработки платежной информации (основной обрабатывающий центр для половины регионов России размещается в Санкт-Петербурге). Схема сети в терминах теории массового обслуживания показана на рисунке 3.1.

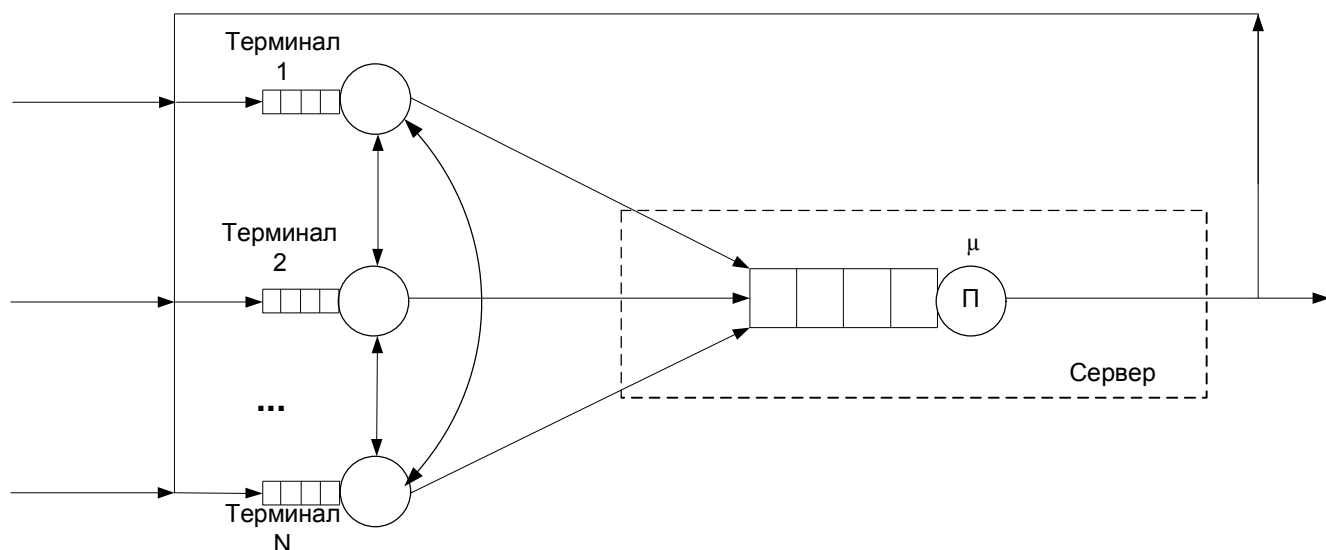


Рисунок 3.1 – Схема сети Центробанка РФ

При этом трафик существенно зависит от вида участника расчетов (учреждение Банка России (БР), клиент БР, участник электронного обмена) и типа платежа (внутри региональный электронный, межрегиональный электронный, почтовый). Так внутри региональный платеж РКЦ проходит (весьма укрупненно) следующие этапы: ввод, предварительная обработка в РКЦ, передача в РЦИ, предварительная обработка в РЦИ, передача в Санкт-Петербург, обработка, передача в РЦИ, обработка в РЦИ, передача в РКЦ - получатель, обработка в РКЦ и выдача. Каждый из этапов сопровождается обменом электронными служебными документами. Кроме того, существуют технологические операции: открытие/закрытие счетов, модификации программного обеспечения, обновление нормативно-справочной информации и др. Среднее время осуществления такого платежа 20 минут.

На рисунке 3.2 представлена схема сети банка в случае, когда связи непосредственно между терминалами отсутствуют. В этом случае обмен данными между ними происходит через сервер. Подобная схема является наиболее часто встречающейся, поскольку вся информация о платежах и других электронных документах хранится на сервере банка и клиенты (или терминалы на рисунке 3.2) вынуждены в любом случае вначале обращаться на сервер, чтобы передать данные друг другу. Далее и будет рассчитана загрузка сервера, при условии, что учитывается суммарный поток заявок, т.е. от сервера к терминалам и между терминалами в обоих направлениях.

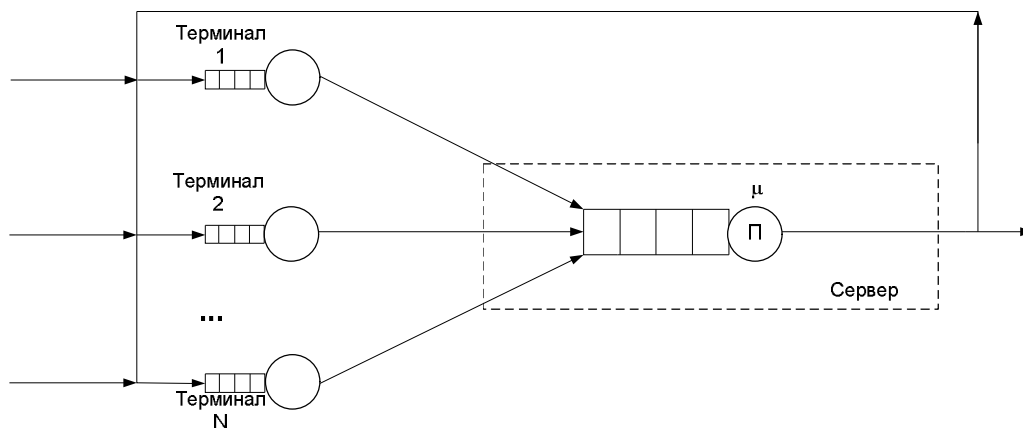


Рисунок 3.2 – Схема сети банка

Посылка формируется в РКЦ (у клиента) на этапе предварительной обработки. В посылке может быть как один, так и несколько тысяч документов. Время обработки в ЦОИ несопоставимо мало (миллисекунды) относительно суммарного времени предварительных обработок и транспорта информации. Для конечного пользователя среднее время обработки его документа составляет 20 мин. Трафик существенно зависит от вида отчета. Среднее время формирования отчета (с учетом технологии параллельной обработки) составляет 10 минут.

При получении пакета электронных документов (ЭД) ЦОИ осуществляет его контроль (подтверждение подлинности, контроль на дублирование, структурный контроль). ЭД клиентов, целостность и подлинность которых не подтверждена, исключаются из дальнейшей обработки. ЦОИ, получив файл от участника обмена, проверяет уникальность его имени. Если файл с таким именем уже был принят ранее, то выполняется проверка идентичности содержимого текущего файла с содержимым ранее принятого файла с тем же именем. В случае совпадения содержимого на все ЭД текущего файла клиенту повторно направляются подтверждения. Если же содержимое файлов не совпадает, текущий файл отбраковывается. Если имя файла уникально, все ЭД файла проверяются на повторность группы реквизитов. Если пакет электронных документов с такими реквизитами уже был принят ранее от этого отправителя, то выполняется проверка идентичности содержимого текущего пакета ЭД содержимому ЭД, принятого ранее. В случае совпадения содержимого клиенту повторно направляется подтверждение на ЭД. В случае несовпадения содержимого ЭД отбраковывается.

При успешном завершении контроля ЭД ЦОИ передает клиенту пакет с извещением об успешном завершении контроля, после чего полученный ЭД направляется на дальнейшую обработку. ЭД, поступившие от клиента в ЦОИ в течение дня, обрабатываются в текущем операционном дне.

Обработка ЭД в ЦОИ проводится автоматически и включает в себя:

- логический контроль реквизитов, который осуществляется в соответствии с требованиями правил Банка России по осуществлению безналичных расчетов;

- контроль на обеспеченность платежа в момент проведения расчетной операции, который заключается в проверке достаточности средств на счете КЛИЕНТА для исполнения данного ЭД;

- исполнение ЭД.

ЭД, не прошедшие логический контроль, возвращаются клиенту с извещением об отказе в приеме ЭД к исполнению и указанием причины отказа, после чего дальнейший документооборот по данному ЭД прекращается.

ЭД, прошедшие логический контроль, но не прошедшие контроль на обеспеченность, помещаются в очередь на оплату, где хранятся до момента исполнения в течение текущего операционного дня. При помещении ЭД в очередь отложенных платежей ЦОИ направляет участнику-плательщику пакет с извещением о статусе ЭД “ЭД отложен”.

ЭД, оставшиеся непоплаченными после окончательной обработки очереди отложенных платежей, возвращаются клиенту без исполнения (аннулируются). ЭПД, подлежащие учету в банке, помещаются в картотеку к внебалансовому счету №__.

ЭД, прошедшие логический контроль и контроль на обеспеченность платежа оплачиваются в соответствии с кодом очередности, а внутри одной группы очередности - в порядке, определенном клиентом.

После обработки ЭД в ЦОИ формируется и передается клиенту пакет с результатом обработки.

ЦОИ на основании проведенных документов формирует ЭД с информацией о поступивших платежах, которые передаются клиенту в соответствии с регламентом обмена в виде полноформатных ЭД.

По запросам клиента в течение операционного дня ЦОИ передает пакет с результатом обработки конкретного ЭД, о текущем остатке на счете, о состоянии очереди отложенных ЭД в ЦОИ, промежуточную выписку по счету.

По завершении операционного дня ЦОИ формирует окончательную выписку из лицевого счета клиента, содержащую все ЭД, проведенные по счету клиента в течение операционного дня, а также суммы входящего и исходящего остатков по счету за день и направляет данный пакет клиенту в соответствии с регламентом обмена.

Таким образом, требуется промоделировать многопроцессорный сервер обработки данных с целью определения его загрузки в зависимости от интенсивности входного потока и количества задействованных процессоров, а также времени задержки. Для проверки точности предложенной методики проведены также расчеты по системе моделирования GPSS World.

Для решения поставленной задачи применим методику приведения неоднородного потока заявок к однородному потоку т.н. «обобщенных» заявок и метод двумерной диффузионной аппроксимации процессов функционирования систем массового обслуживания (СМО). Весьма укрупненная схема сети банка в программной системе OPNET Modeler приведена на рисунке 3.3.

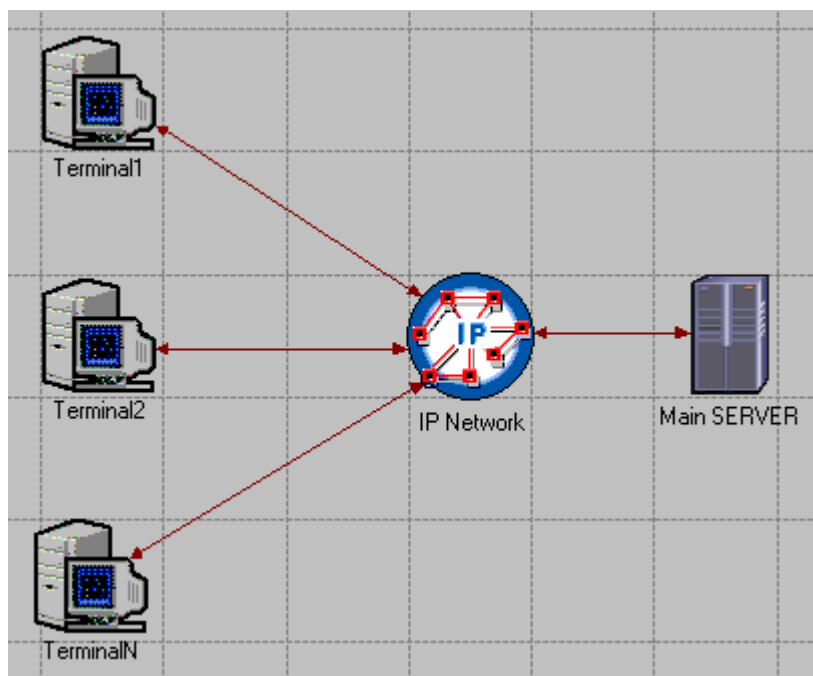


Рисунок 3.3 – Укрупненная схема сети банка

Рассматриваются два типа трафика. Это в первую очередь платежи, где приходит порядка 45-50 тысяч документов в сутки. Получаем интенсивность поступления запросов первого типа трафика, равную $\lambda^{(1)} = 0,5787$ док/с, то есть через интервалы времени 1,728 с поступают заявки первого типа. Примем трудоемкость обслуживающего устройства за единицу. Интенсивность обработки платежа получим исходя из времени его обработки – миллисекунды (среднее значение порядка 500 мс), то есть $\mu^{(1)} = 1/(0,500) = 2$ док/с.

Второй тип трафика – это поток статистической отчетности. Всего существует 127 форм отчетности. При этом ежедневно поступают порядка 60, причем примерно половина от кредитных организаций, а половина от расчетно-кассовых центров. Таким образом, имеем 7620 документов в сутки. Тогда интенсивность запросов второго типа $\lambda^{(2)} = 0,088$ док/с, то есть очередной отчет поступает через интервал времени в 11,3386 с. Интенсивность обработки запросов получим исходя из времени обработки в миллисекунды (среднее значение порядка 450 мс), то есть $\mu^{(2)} = 1/(0,45) = 2,22$ док/с.

Методика приведения неоднородного трафика к обобщенному состоит в следующем. Используем беспriorитетную дисциплину обслуживания FCFS (первым пришел - первым обслужен). Под неоднородностью трафика будем подразумевать многомерность потока заявок и различие маршрутов движения для каждого типа заявок. Пусть от внешнего источника S_0 в сеть (на вход i -ой СМО) поступает многомерный поток заявок с интенсивностями $\lambda_{0i}^{(m)}$ и дисперсиями $D_{0i}^{(m)}$ для каждого типа заявок m ($m = 1, 2, \dots, M; i = 1, 2, \dots, n$). Рассмотрим случай, когда сетевая модель системы характеризуется одной общей матрицей вероятностей передач заявок для всех типов $P = \{P_{ij}\}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$). Составим уравнения баланса интенсивностей потоков заявок для каждого типа m на входе и выходе каждой СМО сети.

$$\lambda_i^{(m)} = \lambda_{0i}^{(m)} + \sum_{j=1}^n p_{ji} \lambda_j^{(m)}, \quad (3.1)$$

Решением систем линейных алгебраических уравнений (3.1), определяем интенсивности потоков типа m на входе и выходе каждой СМО сети $\lambda_i^{(m)}$. Так как коэффициент загрузки системы S_i потоком типа m будет составлять $\rho_i^{(m)} = \lambda_i^{(m)} / \mu_i^{(m)}$, где $\mu_i^{(m)}$ - интенсивность обслуживания заявки типа m в системе S_i , то суммарная загрузка системы S_i со стороны всех потоков будет равна $\rho_{i\Sigma} = \sum_{m=1}^M \rho_i^{(m)}$. Тогда условие существования стационарного режима представится в виде $\rho_{i\Sigma} < 1$ ($i = 1, 2, \dots, n$) и коэффициент простоя системы S_i равен $q_i = 1 - \rho_{i\Sigma}$.

Параметры потоков заявок из множества заявок типа m усредним с целью приведения неоднородного потока к однородному. Эти параметры будут описывать так называемую «обобщенную» заявку. При этом должно соблюдаться условие, чтобы однородный поток заявок на обслуживание обобщенной заявки создавал такую же нагрузку на каждую СМО сети, как и неоднородный поток. Поэтому параметры потока обобщенных заявок определим посредством усреднения параметров потока типа m по интенсивностям поступления $\lambda_i^{(m)}$. Тогда интенсивность поступления потока обобщенных заявок на вход i -ой СМО

$$\lambda_i^{об} = \sum_{m=1}^M \lambda_i^{(m)}, \quad (3.2)$$

а для нашей задачи

$$\lambda^{об} = \lambda^{(1)} + \lambda^{(2)} = 0,5787 + 0,088 = 0,6667 \text{ док/с,}$$

и среднее время обслуживания обобщенной заявки

$$\bar{\tau}_{\mu i}^{об} = \sum_{m=1}^M (\lambda_i^{(m)} / \mu_i^{(m)}) / \lambda_i^{об}, \quad (3.3)$$

где $\mu_i^{(m)} = 1 / \bar{\tau}_{\mu i}^{(m)}$ ($i = 1, 2, \dots, n$).

Для нашей задачи это время равно

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_{\mu}^{об} &= (\lambda^{(1)} / \mu^{(1)}) / \lambda^{об} + (\lambda^{(2)} / \mu^{(2)}) / \lambda^{об} = \\ &= (0,5787 / 2) / 0,6667 + (0,088 / 2,22) / 0,6667 = 0,4934 \end{aligned}$$

Используя выражения (3.2) и (3.3) получим, что коэффициент загрузки i -ой СМО потоком обобщенных заявок $\rho_i^{об}$ составит

$$\rho_i^{об} = \lambda_i^{об} \cdot \bar{\tau}_{\mu_i}^{об} = \sum \lambda_i^{(m)} / \mu_i^{(m)} = \rho_{i\Sigma}, \quad (3.4)$$

а в нашем случае

$$\rho^{об} = \lambda^{об} \cdot \bar{\tau}_{\mu}^{об} = 0,6667 \cdot 0,4934 = 0,3289.$$

С другой стороны

$$\rho = \lambda^{(1)} / \mu^{(1)} + \lambda^{(2)} / \mu^{(2)} = 0,3289.$$

Следовательно, однородный поток обобщенных заявок создает ту же нагрузку, что и неоднородный поток.

При вышеприведенных исходных данных с помощью программной системы GPSS World получаем загрузку обслуживающего устройства, равную 0,289. В то время как, при помощи программной системы [92], получаем результат 0,290 (рисунки 3.4 и 3.5). Погрешность составляет 0,0034 или 0,34%. Среднее время ожидания 0,042 с.

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	86400.000	9	1	0

NAME	VALUE
CHAN	10001.000
QCHAN	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	49999	0	0
	2	QUEUE	49999	0	0
	3	SEIZE	49999	0	0
	4	DEPART	49999	0	0
	5	ADVANCE	49999	0	0
	6	RELEASE	49999	0	0
	7	TERMINATE	49999	0	0
	8	GENERATE	1	0	0
	9	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
CHAN	49999	0.289	0.500	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
QCHAN	1	0	49999	49999	0.000	0.000	0.000

Рисунок 3.4 – Результаты моделирования в системе GPSS World для 1-го типа трафика

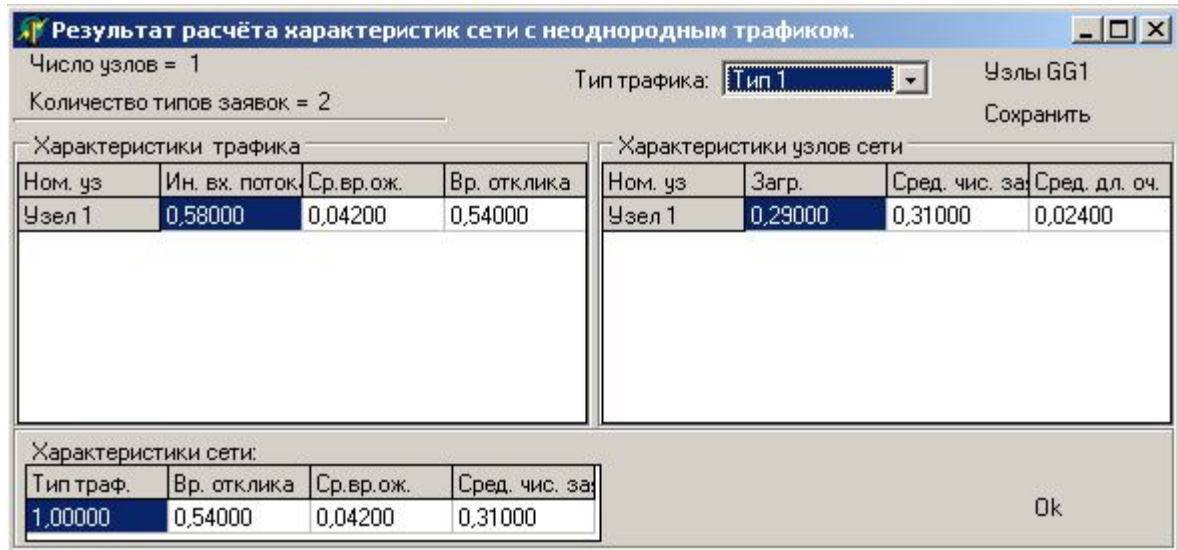


Рисунок 3.5 – Результаты моделирования в пакете PROBMOD для 1-го типа трафика

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	86400.000	9	1	0

NAME	VALUE
CHAN	10001.000
QCHAN	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT	COUNT	RETRY
	1	GENERATE	7619	0	0	0
	2	QUEUE	7619	0	0	0
	3	SEIZE	7619	0	0	0
	4	DEPART	7619	0	0	0
	5	ADVANCE	7619	0	0	0
	6	RELEASE	7619	0	0	0
	7	TERMINATE	7619	0	0	0
	8	GENERATE	1	0	0	0
	9	TERMINATE	1	0	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
CHAN	7619	0.040	0.450	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY	
QCHAN	1	0	7619	7619	0.000	0.000	0.000	0

Рисунок 3.6 – Результаты моделирования в системе GPSS World для 2-го типа трафика

Для второго типа трафика получаем следующие результаты. В GPSS World получаем загрузку обслуживающего устройства, равную 0,04. При помощи программной системы PROBMOD, получаем результат аналогичный, т.е. 0,04 (рисунки 3.6 и 3.7). Среднее время ожидания составляет 0,062 с.

Результат расчёта характеристик сети с неоднородным трафиком.

Число узлов = 1 Тип трафика: Тип 2 Узлы GG1
 Количество типов заявок = 2 Сохранить

Характеристики трафика				Характеристики узлов сети			
Ном. уз	Ин. вх. поток	Ср.вр.ож.	Вр. отклика	Ном. уз	Загр.	Сред. чис. за	Сред. дл. оч.
Узел 1	0,08800	0,06200	0,51000	Узел 1	0,04000	0,04500	0,00540

Характеристики сети:			
Тип траф.	Вр. отклика	Ср.вр.ож.	Сред. чис. за
2,00000	0,51000	0,06200	0,04500

Ok

Рисунок 3.7 – Результаты моделирования в пакете PROBMOD для 2-го типа трафика

Полученные результаты, а именно загрузка обслуживающего устройства, говорят о том, что при имеющихся интенсивностях поступления заявок на обработку (0,289+0,04) устройство загружено на 33% (рисунки 3.1-3.4).

Что так же подтверждается расчетами для неразделенного или неоднородного потока (рисунки 3.8 и 3.9).

Результат расчёта характеристик сети с неоднородным трафиком.

Число узлов = 1 Тип трафика: Тип 1 Узлы GG1
 Количество типов заявок = 1 Сохранить

Характеристики трафика				Характеристики узлов сети			
Ном. уз	Ин. вх. поток	Ср.вр.ож.	Вр. отклика	Ном. уз	Загр.	Сред. чис. за	Сред. дл. оч.
Узел 1	0,67000	0,04900	0,55000	Узел 1	0,33000	0,37000	0,03300

Характеристики сети:			
Тип траф.	Вр. отклика	Ср.вр.ож.	Сред. чис. за
1,00000	0,55000	0,04900	0,37000

Ok

Рисунок 3.8 – Результаты моделирования в PROBMOD для неоднородного трафика

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	86400.000	11	1	0

NAME	VALUE
CHAN	10002.000
QCHAN	10001.000
TAB	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	57638	0	0
	2	MARK	57638	0	0
	3	QUEUE	57638	0	0
	4	SEIZE	57638	0	0
	5	DEPART	57638	0	0
	6	ADVANCE	57638	0	0
	7	RELEASE	57638	0	0
	8	TABULATE	57638	0	0
	9	TERMINATE	57638	0	0
	10	GENERATE	1	0	0
	11	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
CHAN	57638	0.334	0.500	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
QCHAN	1	0	57638	57638	0.000	0.000	0.000

Рисунок 3.9 – Результаты моделирования в системе GPSS World для неоднородного трафика

В реальных системах такая загрузка является хорошим показателем, так как в этом случае имеем 67% запас производительности. Рассчитаем интенсивность входного потока таким образом, чтобы загрузка устройства была на уровне 70%. Из формулы (3.4) имеем:

$$\lambda_i^{06} = \rho_i^{06} / \tau_{\mu i}^{06} = 0,7 / 0,4934 = 1,418 \text{ док/с.}$$

Откуда получим интенсивности входных потоков заявок: $\lambda^{(1)} = 1,228$ док/с и $\lambda^{(2)} = 0,187$ док/с. Проверим полученные результаты при помощи систем моделирования (рисунки 3.10 и 3.11).

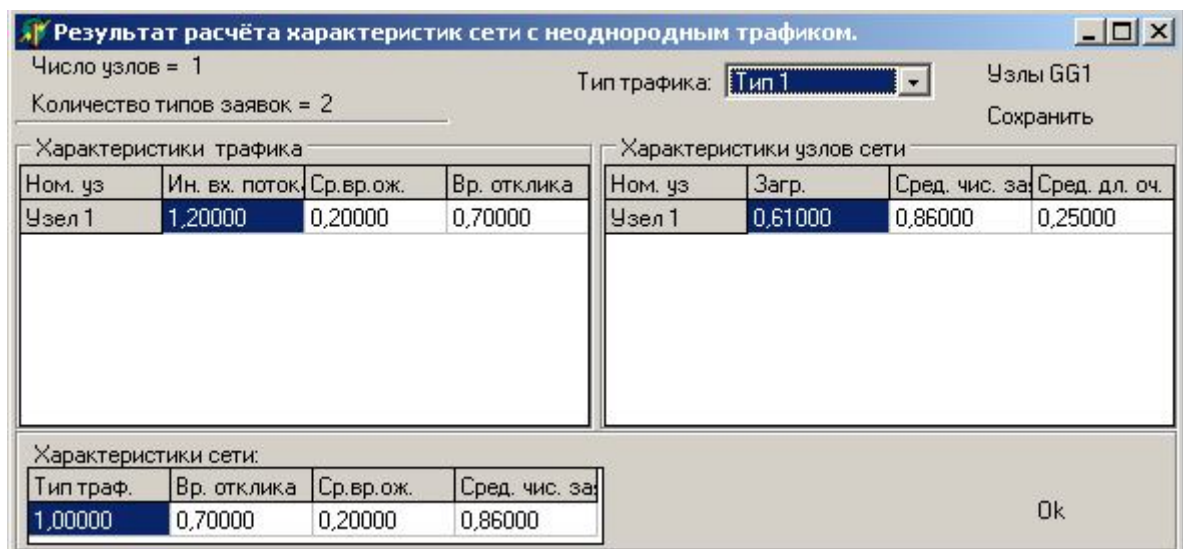


Рисунок 3.10 – Результаты моделирования в PROBMOD для 1-го типа трафика

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	86400.000	9	1	0

NAME	VALUE
CHAN	10001.000
QCHAN	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	106142	0	0
	2	QUEUE	106142	0	0
	3	SEIZE	106142	0	0
	4	DEPART	106142	0	0
	5	ADVANCE	106142	1	0
	6	RELEASE	106141	0	0
	7	TERMINATE	106141	0	0
	8	GENERATE	1	0	0
	9	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
CHAN	106142	0.614	0.500	1	106143	0	0	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE. (-0)	RETRY	
QCHAN	1	0	106142	106142	0.000	0.000	0.000	0

Рисунок 3.11 – Результаты моделирования в системе GPSS World для 1-го типа трафика

Погрешность составляет 0,65%. Для второго типа трафика получаем следующие результаты. В GPSS World получаем загрузку обслуживающего устройства, равную 0,084. При помощи программной системы PROBMOD, получаем результат аналогичный, т.е. 0,084 (рисунки 3.12 и 3.13). Среднее время ожидания составляет 0,058 сек.

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	86400.000	9	1	0

NAME	VALUE
CHAN	10001.000
QCHAN	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	16158	0	0
	2	QUEUE	16158	0	0
	3	SEIZE	16158	0	0
	4	DEPART	16158	0	0
	5	ADVANCE	16158	0	0
	6	RELEASE	16158	0	0
	7	TERMINATE	16158	0	0
	8	GENERATE	1	0	0
	9	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
CHAN	16158	0.084	0.450	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE. (-0)	RETRY	
QCHAN	1	0	16158	16158	0.000	0.000	0.000	0

Рисунок 3.12 – Результаты моделирования в системе GPSS World для 2-го типа трафика

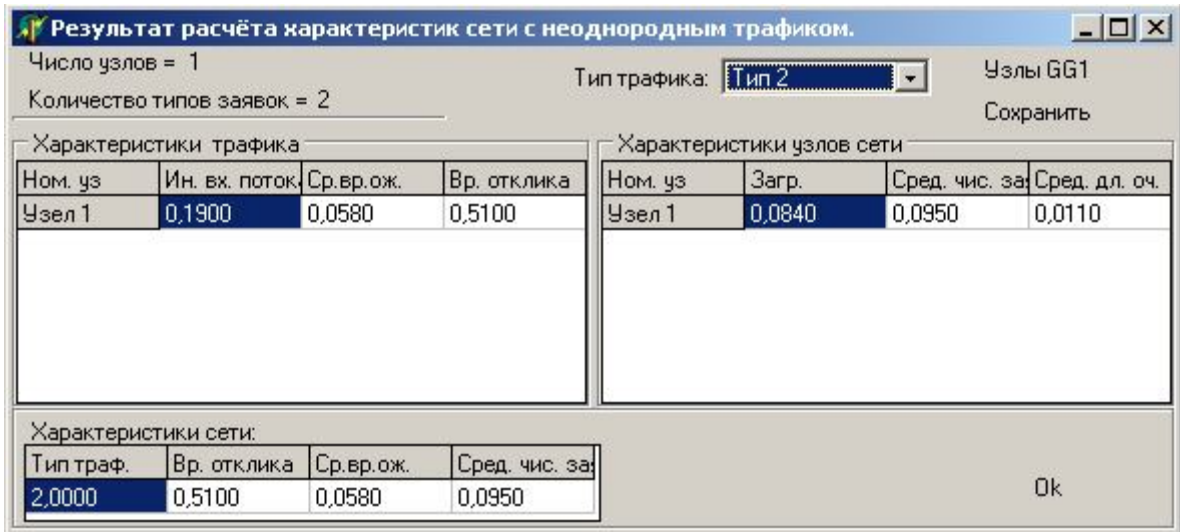


Рисунок 3.13 – Результаты моделирования в пакете PROBMOD для 2-го типа трафика

Рассчитаем среднее время обслуживания обобщенной заявки для новых интенсивностей поступления заявок.

$$\bar{\tau}_{\mu}^{об} = (\lambda^{(1)}/\mu^{(1)})/\lambda^{об} + (\lambda^{(2)}/\mu^{(2)})/\lambda^{об} = (1,228/2)/1,418 + (0,187/2,22)/1,418 = 0,492 \text{ с.}$$

$$\rho_i^{об} = \lambda_i^{об} \cdot \bar{\tau}_{\mu_i}^{об} = 1,418 \cdot 0,492 = 0,697.$$

Таким образом, получаем требуемую загрузку обслуживающего устройства – 70%. Загрузка обслуживающего устройства рассчитана для случая, когда интервалы времени между поступлением заявок распределены по равномерному закону. Аналогично распределены интервалы времени между обслуживанием заявок.

Теперь проведем расчеты загрузки устройства в предположении пуассоновского входного потока с тем же средним интервалом 1,728 с. Время обработки заявки распределено по экспоненциальному закону со средним интервалом 0,5с. При помощи системы GPSS получаем значение загрузки обслуживающего устройства равное 0,291 для первого типа трафика. При помощи PROBMOD имеем загрузку обслуживающего устройства 0,29 (рисунки 3.14 и 3.15). Погрешность 0,34%. Среднее время ожидания составляет 0,16 с.

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	86400.000	9	1	0

NAME	VALUE
CHAN	10002.000
EXPON	10000.000
QCHAN	10001.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	50311	0	0
	2	QUEUE	50311	0	0
	3	SEIZE	50311	0	0
	4	DEPART	50311	0	0
	5	ADVANCE	50311	1	0
	6	RELEASE	50310	0	0
	7	TERMINATE	50310	0	0
	8	GENERATE	1	0	0
	9	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
CHAN	50311	0.291	0.499	1	50312	0	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
QCHAN	8	0	50311	35970	0.114	0.195	0.686

Рисунок 3.14 – Результаты моделирования в системе GPSS World для 1-го типа трафика

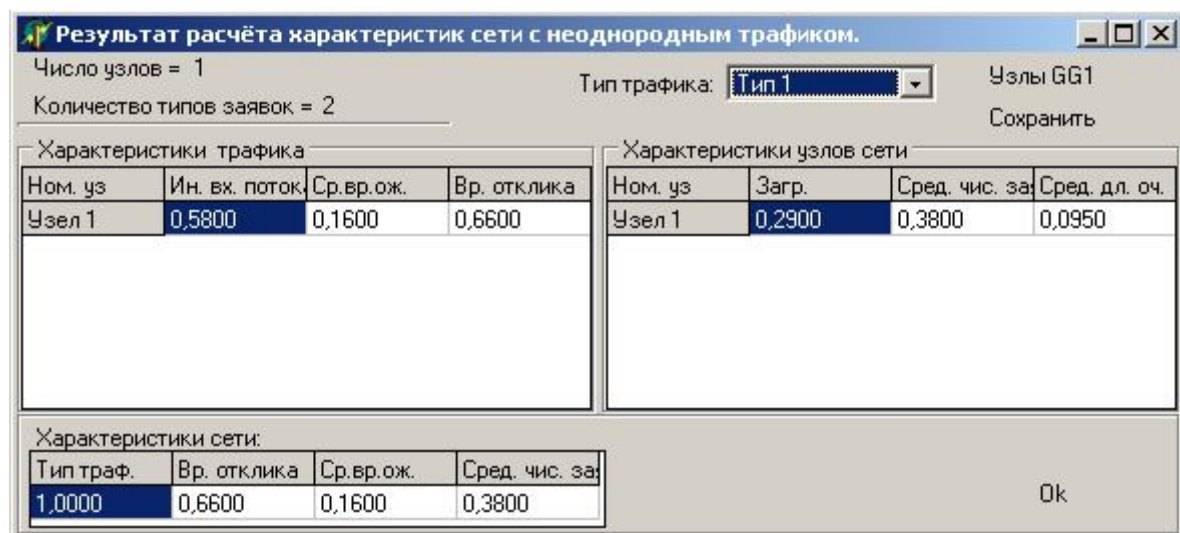


Рисунок 3.15 – Результаты моделирования в пакете PROBMOD для 1-го типа трафика

Рассчитаем загрузку устройства для второго типа трафика для случая, когда на входе имеем пуассоновский поток со средним интервалом 11,3386 с. Время обработки заявки распределено по экспоненциальному закону со средним интервалом 0,45 с. При помощи системы GPSS получаем значение загрузки обслуживающего устройства равное 0,04 для второго типа трафика. При помощи PROBMOD имеем загрузку обслуживающего устройства 0,04 (рисунки 3.16 и 3.17). Среднее время ожидания составляет 0,13 с.

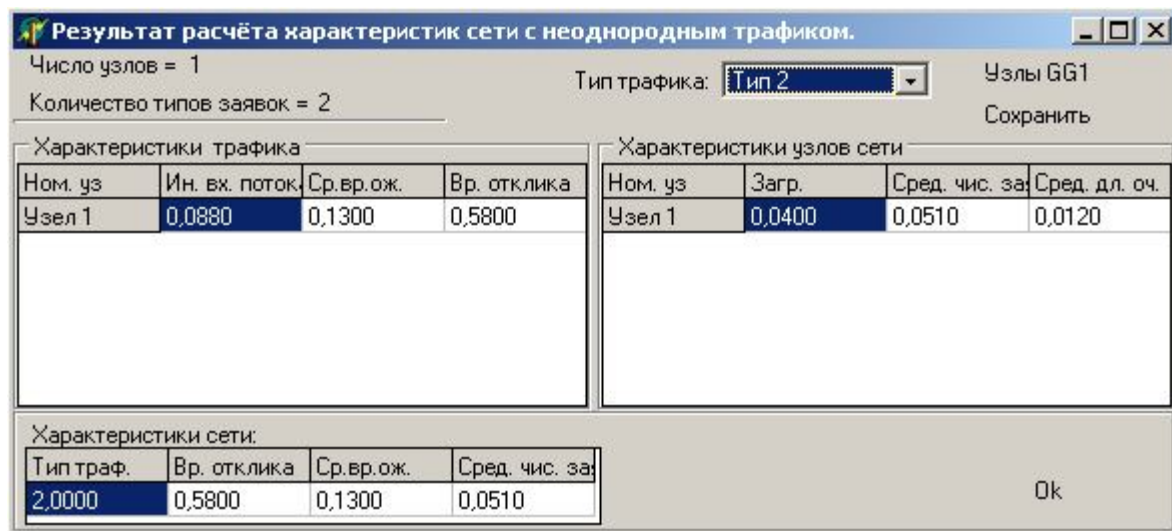


Рисунок 3.16 – Результаты моделирования в системе GPSS World для 2-го типа трафика

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	86400.000	9	1	0

NAME	VALUE
CHAN	10002.000
EXPON	10000.000
QCHAN	10001.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	7640	0	0
	2	QUEUE	7640	0	0
	3	SEIZE	7640	0	0
	4	DEPART	7640	0	0
	5	ADVANCE	7640	0	0
	6	RELEASE	7640	0	0
	7	TERMINATE	7640	0	0
	8	GENERATE	1	0	0
	9	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
CHAN	7640	0.040	0.449	1	0	0	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
QCHAN	2	0	7640	7356	0.001	0.016	0.443

Рисунок 3.17 – Результаты моделирования в пакете PROBMOD для 2-го типа трафика

Для неоднородного потока получены следующие результаты (рисунки 3.18 и 3.19).

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	86400.000	11	1	0

NAME	VALUE
CHAN	10003.000
EXPON	10001.000
QCHAN	10002.000
T_TAB	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	58056	0	0
	2	MARK	58056	0	0
	3	QUEUE	58056	0	0
	4	SEIZE	58056	0	0
	5	DEPART	58056	0	0
	6	ADVANCE	58056	1	0
	7	RELEASE	58055	0	0
	8	TABULATE	58055	0	0
	9	TERMINATE	58055	0	0
	10	GENERATE	1	0	0
	11	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
CHAN	58056	0.336	0.501	1	58057	0	0	0	0

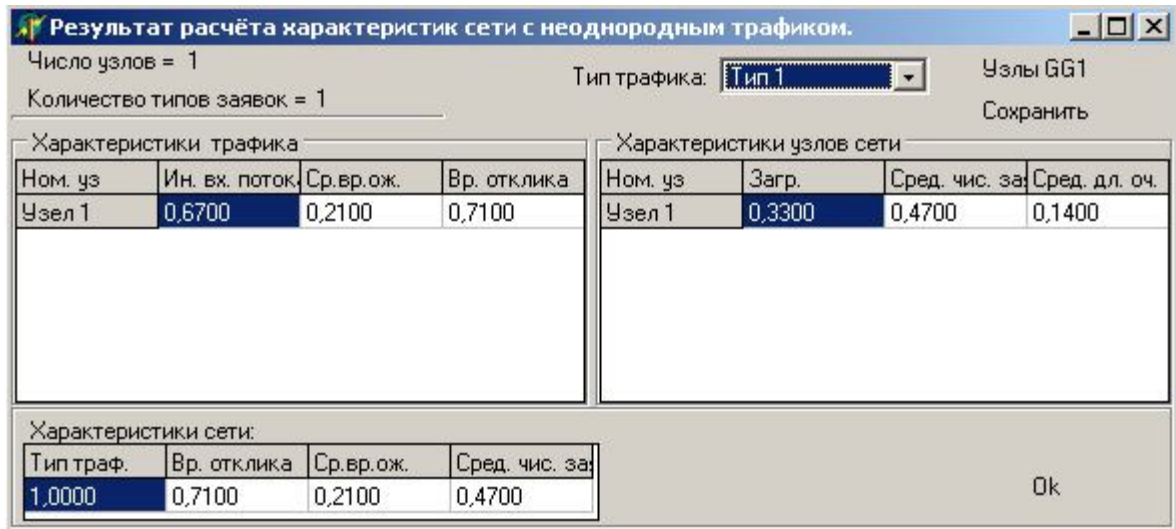


Рисунок 3.18 – Результаты моделирования в пакете PROBMOD для неоднородного трафика

Рисунок 3.19 – Результаты моделирования в системе GPSS World для неоднородного трафика

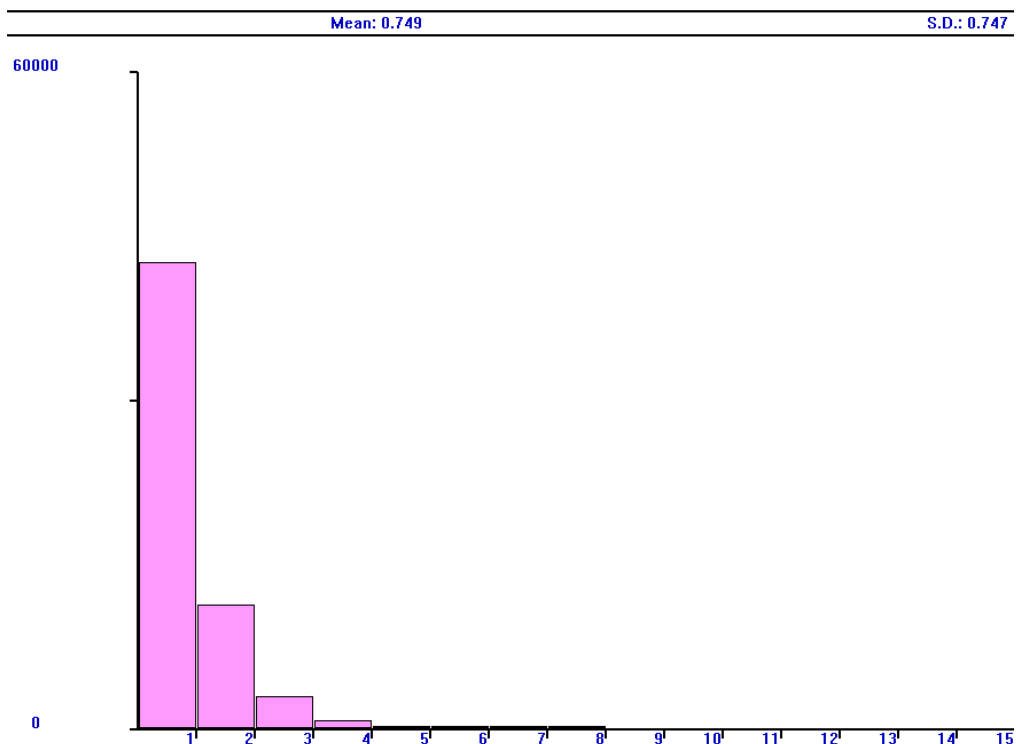


Рисунок 3.20 – Гистограмма распределения времени пребывания

По рисункам 3.8 и 3.9, а также 3.18, 3.19 и 3.20 составим таблицу результатов расчетов для основных характеристик. Среднее время ответа 0,749 при имитационном моделировании получено из гистограммы распределения времени пребывания (рисунок 3.20). Из таблицы 3.2 видим, что полученные в PROBMOD результаты занижены по сравнению как с результатами для СМО М/М/1, так и с результатами программы GPSS при различных коэффициентах вариации, потому как формула сложения дисперсий занижает дисперсию суммарного потока (таблица 2.1).

С учетом вторых моментов, например при коэффициенте вариации 0,57 (равномерный закон распределения) или при других, отличных от единицы значениях, используя систему М/М/1 мы не можем получить таких результатов,

которые можно получить по описанной выше методике. Такой результат может дать только имитационное моделирование, например на GPSS.

Таблица 3.2 – Результаты расчетов характеристик сети

Характеристики сети	Расчет по средним	Расчет с учетом вторых моментов		Имитационное моделирование	
		$c_\lambda = c_\mu = 1$	$c_\lambda = c_\mu = 0,57$	$c_\lambda = c_\mu = 1$	$c_\lambda = c_\mu = 0,57$
Загрузка сервера ρ	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Ср. время ответа \bar{U} (с)	0,75	0,71	0,55	0,749	0,596
Ср. число заданий \bar{N}	0,50	0,47	0,37	0,506	0,398

Полученные результаты внедрены и используются в отделе информатизации ЦБ РФ по Оренбургской области, о чем имеется акт внедрения.

Выводы

1. Данные результаты получены для пяти обрабатывающих процессоров и интенсивности обработки поступающих запросов порядка миллисекунды. Такое количество процессоров обеспечивает загрузку обрабатывающего сервера на 33% при вышеуказанной интенсивности входного трафика. Таким образом, остается приличный запас ресурсов сервера для увеличения интенсивности входного трафика.

2. Количество процессоров сервера зависит от поступающей нагрузки и поэтому может динамически меняться согласно проведенным расчетам. Такой подход позволяет прогнозировать и выбирать оптимальное число процессоров многопроцессорного сервера.

3. Аналогичным образом можно решить задачу определения оптимального количества рабочих станций, необходимых для обработки поступающего потока заявок, при условии, что каждая рабочая станция располагает одним процессором.

4. Законы распределений входного трафика и времени обслуживания при моделировании почти не влияют на такую характеристику как загрузка, но влияют на другие характеристики: задержки, среднюю длину очереди и т.д.

5. Результаты, полученные с помощью разработанной программной системы PROBMOD, подтверждаются результатами моделирования в системе GPSS World.

4 Проектирование и моделирование сети кафедры вуза

4.1 Моделирование сети кафедры вычислительной техники ГОУ ОГУ

Современные компьютерные сети обеспечивают пользователям широкий набор услуг, включая электронную почту, передачу факсимильных и голосовых сообщений и другие услуги. Быстрый рост числа компьютерных сетей, успехи в развитии оптоволоконных и беспроводных средств связи, сопровождаются непрерывной сменой сетевых технологий, направленной на повышение быстродействия и надежности сетей, возможности интегрированной передачи данных, голоса и видеoinформации. Различные сетевые технологии и приложения предъявляют особые требования к аппаратной части локальных сетей, а так же к каналам связи. Поэтому актуальной задачей является задача определения основных характеристик сетей передачи данных, таких как время отклика приложений и задержки, загрузки каналов передачи данных и обслуживающих устройств [1, 54,55,56,57,59,60,66,68,70,90,94].

Локальную вычислительную сеть кафедры ВТ образуют три учебных класса по 10 компьютеров (рисунок 4.1) [111]. Коммутаторы учебных классов подключены к главному коммутатору.

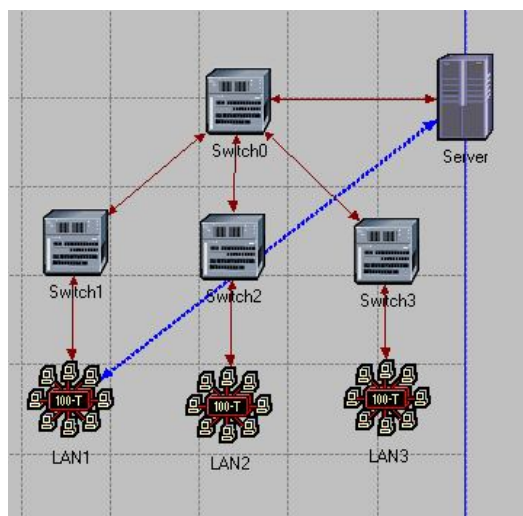


Рисунок 4.1 – Схема сети кафедры в Opnet Modeler

К этому же коммутатору подключен сервер, предоставляющий такие сетевые сервисы как доступ в Интернет, доступ в локальное файловое хранилище по протоколам FTP и NetBIOS, электронная почта. Трафик по этим основным протоколам и будет исследован в данной главе.

Требуется промоделировать работу сервера и рабочих станций с целью определения основных характеристик сети, таких как загрузка канала передачи данных сервера, задержка Ethernet, время отклика пользовательских приложений.

Для получения основных характеристик сети при помощи программной системы PROVMOD необходимо найти матрицу вероятностей передачи заявок от рабочих станций к серверу и от сервера к рабочим станциям. Для этого воспользуемся имеющимися программными средствами (их демо-версиями), такими как Tmeter и PRTG Traffic Grapher. Эти приложения позволяют подсчитывать трафик по интересующим нас протоколам (HTTP, FTP, NetBIOS).

4.1.1 Методика сбора сетевого трафика

Для сбора сетевой информации используются анализаторы сетевых пакетов, или снифферы. Первоначально они были разработаны как средство решения сетевых проблем [86,87]. Они умеют перехватывать, интерпретировать и сохранять для последующего анализа пакеты, передаваемые по сети. С одной стороны, это позволяет системным администраторам наблюдать за тем, как данные передаются по сети, диагностировать и устранять возникающие проблемы. С другой стороны, подобно многим другим мощным средствам, изначально предназначенным для администрирования, снифферы стали применяться для завладения паролями и другой конфиденциальной информацией.

Сниффер — это программа, работающая на уровне сетевого адаптера и перехватывающая весь трафик. Поскольку снифферы работают на канальном уровне модели OSI, они не должны работать по правилам протоколов более

высокого уровня. Снифферы обходят механизмы фильтрации (адреса, порты и т.д.), которые драйверы Ethernet и стек TCP/IP используют для интерпретации данных. Пакетные снифферы захватывают все, что по нему приходит. Снифферы могут сохранять кадры в двоичном формате и позже расшифровывать их, чтобы раскрыть информацию более высокого уровня, спрятанную внутри (рисунок 4.2).

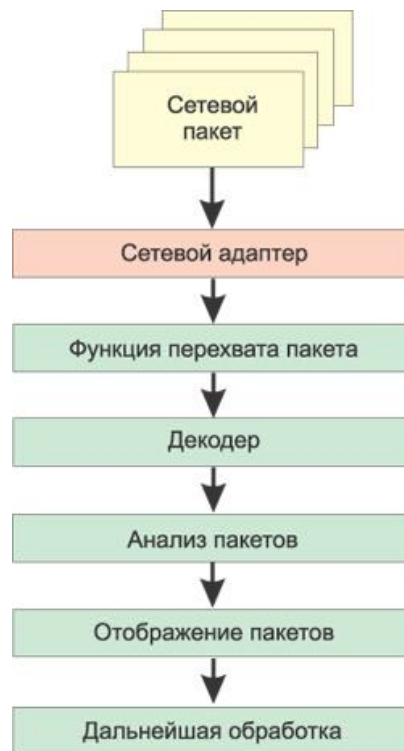


Рисунок 4.2 - Схема работы сниффера

Для того чтобы сниффер мог перехватывать все пакеты, проходящие через сетевой адаптер, драйвер сетевого адаптера должен поддерживать режим функционирования promiscuous mode (беспорядочный режим). Именно в этом режиме работы сетевого адаптера сниффер способен перехватывать все пакеты. Данный режим работы сетевого адаптера автоматически активизируется при запуске сниффера или устанавливается вручную соответствующими настройками сниффера.

Весь перехваченный трафик передается декодеру пакетов, который идентифицирует и расщепляет пакеты по соответствующим уровням иерархии. В зависимости от возможностей конкретного сниффера представленная

информация о пакетах может впоследствии дополнительно анализироваться и отфильтровываться.

Наибольшую опасность sniffеры представляли в те времена, когда информация передавалась по сети в открытом виде (без шифрования), а локальные сети строились на основе концентраторов (хабов). Однако в настоящее время использование sniffеров для получения доступа к конфиденциальной информации — задача отнюдь не из простых [87].

При построении локальных сетей на основе концентраторов существует общая среда передачи данных (сетевой кабель) и все узлы сети обмениваются пакетами, конкурируя за доступ к этой среде (рисунок 4.3), причем пакет посылаемый одним узлом сети, передается на все порты концентратора и этот пакет прослушивают все остальные узлы сети, но принимает его только тот узел, которому он адресован. При этом если на одном из узлов сети установлен пакетный sniffер, то он может перехватывать все сетевые пакеты, относящиеся к данному сегменту сети (сети, образованной концентратором).

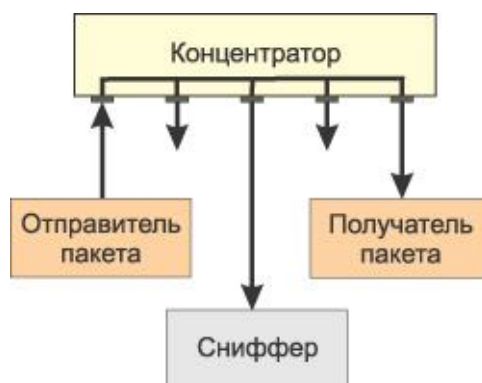


Рисунок 4.3 – Сеть на основе концентратора

Коммутаторы являются более интеллектуальными устройствами, чем концентраторы, и изолируют сетевой трафик. Коммутатор знает адреса устройств, подключенных к каждому порту, и передает пакеты только между нужными портами. Таким образом, посланный неким узлом сети пакет передается только на тот порт коммутатора, к которому подключен получатель пакета, а все остальные узлы сети не имеют возможности обнаружить данный пакет (рисунок 4.4).

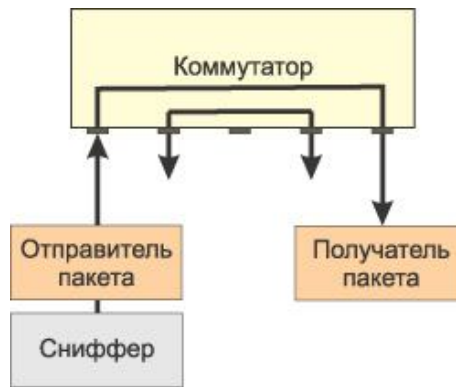


Рисунок 4.4 – Сеть на основе коммутатора

Если сеть построена на основе коммутатора, то сниффер, установленный на одном из компьютеров сети, способен перехватывать только те пакеты, которыми обменивается данный компьютер с другими узлами сети.

Поэтому пакетные снифферы и были установлены на каждом из компьютеров сети кафедры, включая сервер.

На сервере кафедры в целях сбора статистики была установлена программа PRTG Traffic Grapher, являющаяся мощным средством сбора сетевой статистики, способная выполнять мониторинг при помощи SMNP (Simple Management Network Protocol), сниффера пакетов (Packet Sniffing), протокола Netflow (Netflow Collector), (рисунок 4.5).

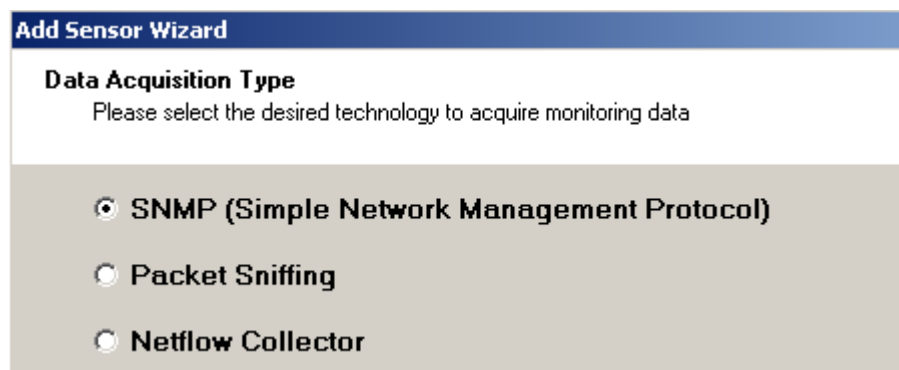


Рисунок 4.5 – Добавление сенсора в PRTG

Главное окно программы PRTG выглядит следующим образом (рисунок 4.6).

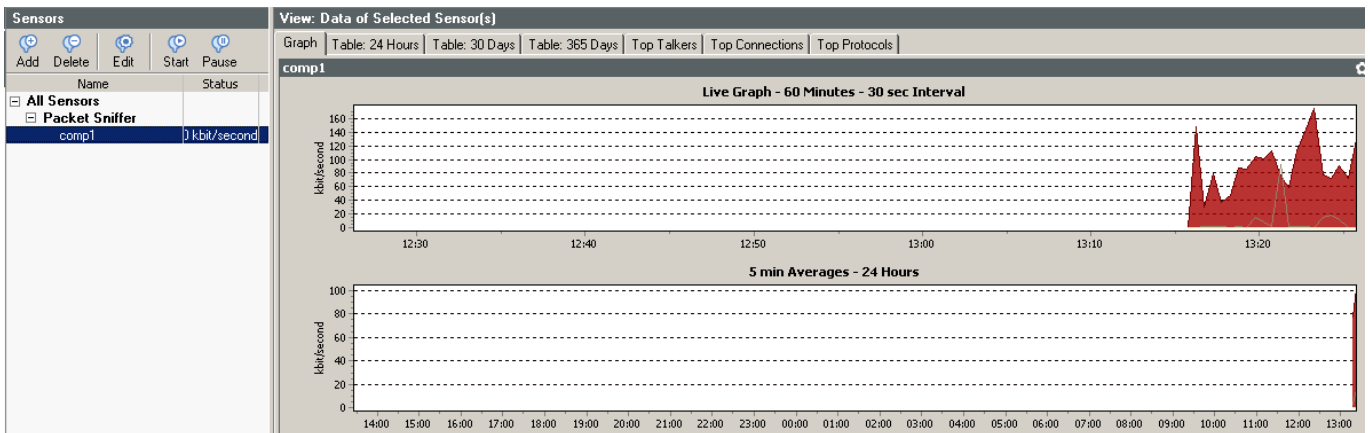


Рисунок 4.6 – Главное окно программы PRTG

В нашем случае будет использован sniffер пакетов, позволяющий собирать информацию о трафике по нужным нам протоколам, как показано на рисунке 4.7.

View: Data of Selected Sensor[s]														
Graph Table: 24 Hours Table: 30 Days Table: 365 Days Top Talkers Top Connections Top Protocols														
Table: comp1 (24 Hours, 5 min Averages)														
	Other		DNS		FTP		HTTP		HTTPS		ICMP		IMAP	
	kbyte	kbit/second	kbyte	kbit/second	kbyte	kbit/second	kbyte	kbit/second	kbyte	kbit/second	kbyte	kbit/second	kbyte	kbit/second
17.05.2008 13:30 - 13:35														
17.05.2008 13:25 - 13:30	5 175,559	141,337	0,000	0,000	0,000	0,000	27,389	0,748	0,000	0,000	0,225	0,006	0,000	0,000
17.05.2008 13:20 - 13:25	3 738,355	102,085	0,000	0,000	0,000	0,000	559,405	15,276	0,000	0,000	5,736	0,157	0,000	0,000
17.05.2008 13:15 - 13:20	2 265,977	77,349	0,344	0,012	0,000	0,000	84,606	2,888	0,000	0,000	0,410	0,014	0,000	0,000
17.05.2008 13:10 - 13:15														
17.05.2008 13:05 - 13:10														
17.05.2008 13:00 - 13:05														
17.05.2008 12:55 - 13:00														
17.05.2008 12:50 - 12:55														
17.05.2008 12:45 - 12:50														

Рисунок 4.7 – Результаты сбора статистики по протоколам

На рабочих станциях для сбора сетевой статистики была установлена программа Tmeter 7.8.454 предоставляющая пользователю удобный и понятный интерфейс (рисунок 4.8). Ограничением демоверсии Tmeter 7.8.454 является возможность использовать только 3 фильтра для сбора статистики, что нас

вполне устраивает, так как интересен трафик по протоколам HTTP, FTP, NetBIOS.

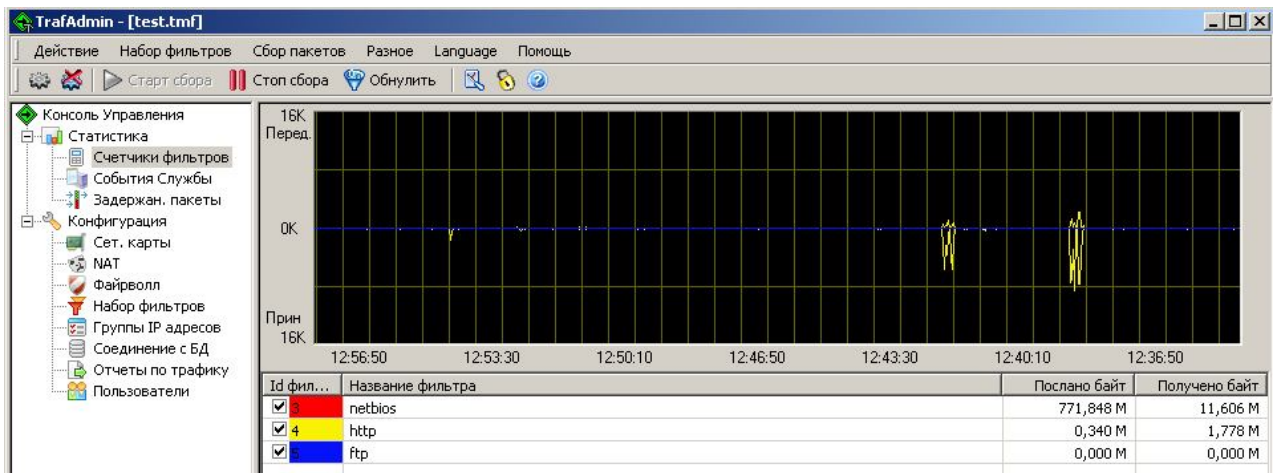


Рисунок 4.8 – Главное окно программы Tmeter 7.8.454

4.1.2 Расчет основных характеристик

Полученные данные за 5 рабочих дней сети кафедры сведены в таблице

4.1.

Таблица 4.1 – Трафик кафедры ВТ

ПК	HTTP		FTP		NetBIOS	
	Отправлено к серверу, Кб	Получено от сервера, Кб	Отправлено к серверу, Кб	Получено от сервера, Кб	Отправлено к серверу, Кб	Получено от сервера, Кб
ПК1	63031,2	3287393,6	2690549,6	2064407,2	2811128,8	2533429,6
ПК2	43940	3172557,6	1870759,2	1032676,8	2041680	2977826,4
ПК3	17571,2	3704948	1779509,6	2321756,8	1786775,2	2182529,6
ПК4	34616,48	3991666,4	814780	3688425,6	840602,4	3564348
ПК5	50140	3525106,88	1250868	2773427,2	2067733,6	2372165,6
ПК6	37076,8	1933760,8	1921820,8	1474576,8	2007948,8	1809592,8
ПК7	74153,6	186210,4	1558965,6	860564	1542830,4	2090724,8
ПК8	10336	2179381,6	1368853,6	1785967,2	1337322,4	1295590,4
ПК9	20362,4	1995097,6	740709,6	1676557,6	764184	1620157,6
ПК10	29493,6	2073592,24	1042390,4	1260648,8	1879757,6	1976804,8
Σ	380721,28	26049715,12	15039206,4	18939008	17079963,2	22423169,6

Таким образом, наиболее выражен трафик HTTP, FTP и NETBIOS. В то же время нельзя не учитывать остальные типы трафика (ICMP,MAIL,Telnet и др.), так как неизбежно их влияние друг на друга. Однако для упрощения и большей наглядности рассмотрим только преобладающий трафик.

Согласно данным таблицы 4.1 получим вероятности передачи заявок. Для этого разделим количество отправленных/полученных килобайт по соответствующему протоколу для каждого ПК на общее количество килобайт трафика, собранного по этому протоколу (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Вероятности передачи заявок

ПК	HTTP		FTP		NetBIOS	
	Отправлено к серверу	Получено от сервера	Отправлено к серверу	Получено от сервера	Отправлено к серверу	Получено от сервера
ПК1	0,1641	0,1261	0,1789	0,109	0,1645	0,1129
ПК2	0,1154	0,1217	0,1243	0,0545	0,1195	0,1328
ПК3	0,0461	0,1422	0,1183	0,1225	0,1046	0,0973
ПК4	0,0909	0,1532	0,0546	0,1947	0,0492	0,1589
ПК5	0,1316	0,1353	0,0831	0,1464	0,121	0,1057
ПК6	0,0973	0,0742	0,1277	0,0778	0,1175	0,0807
ПК7	0,1915	0,0076	0,1036	0,0454	0,0903	0,0937
ПК8	0,0696	0,0836	0,091	0,0947	0,0787	0,0577
ПК9	0,0534	0,0765	0,0492	0,0885	0,0447	0,0722
ПК10	0,0401	0,0796	0,0693	0,0665	0,11	0,0881

По данным таблицы 4.2 построим матрицы вероятностей передачи заявок для трех протоколов (HTTP, FTP и NetBIOS). Вероятности передачи заявок от сервера к рабочим станциям переносим в матрицу передачи в соответствующие ячейки. Таким образом, сервер дает ответ на запрос пользовательского приложения с определенной вероятностью, в то время как вероятность поступления запроса от ПК пользователя на сервер равна 100% или 1 (т.к. клиент в любом случае отправит свой запрос, не зависимо от того получит он ответ или нет, а сервер в свою очередь уже отвечает исходя из текущей загрузки). Полученные матрицы передачи заявок приведены в таблицах 4.3-4.5.

Таблица 4.3 - Матрица вероятностей передачи заявок для протокола HTTP

	Серв	ПК1	ПК2	ПК3	ПК4	ПК5	ПК6	ПК7	ПК8	ПК9	ПК10
Серв	0	0,1261	0,1217	0,1422	0,1532	0,1353	0,0742	0,0076	0,0836	0,0765	0,0796
ПК1	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ПК2	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...
ПК10	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 4.4 - Матрица вероятностей передачи заявок для протокола FTP

	Серв	ПК1	ПК2	ПК3	ПК4	ПК5	ПК6	ПК7	ПК8	ПК9	ПК10
Серв	0	0,1207	0,0545	0,1225	0,1947	0,1464	0,0778	0,0454	0,0947	0,0885	0,0665
ПК1	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ПК2	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...
ПК10	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 4.5 - Матрица вероятностей передачи заявок для протокола NetBIOS

	Серв	ПК1	ПК2	ПК3	ПК4	ПК5	ПК6	ПК7	ПК8	ПК9	ПК10
Серв	0	0,1129	0,1328	0,0973	0,1589	0,1057	0,0807	0,0937	0,0577	0,0722	0,0881
ПК1	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ПК2	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...
ПК10	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Прикладные процессы HTTP, FTP и NETBIOS используют протокол TCP. При этом будет работать стек протоколов процесс/ TCP / IP / Ethernet. При поступлении пакета в модуль IP он будет передан в TCP- или UDP-модуль согласно коду, записанному в поле протокола данного IP-пакета.

Кадр, передаваемый каждым узлом, содержит данные маршрутизации, управления и коррекции ошибок. Для сетей Ethernet параметры кадров определены стандартом 802.3 IEEE.

Базовая длина кадра может изменяться от 72 до 1526 байтов при типовой структуре, показанной на рисунке 4.9.



Рисунок 4.9 - Базовая структура кадра Ethernet

Поля кадра следующие:

- преамбула - каждый кадр начинается с преамбулы длиной семь байтов.

Преамбула используется в качестве синхронизирующей последовательности для интерфейсных цепей и способствует декодированию битов.

- SFD (Start-Frame Delimiter) - разделитель начала кадра, состоящий из одного байта. Поле SFD указывает на начало полезной информации.

- MAC-адрес получателя - поле из шести байтов, содержащее адрес конечного узла.

- MAC-адрес отправителя - поле из шести байтов, содержащее адрес исходного узла.

- длина/тип - поле из двух байтов, указывающее на число байтов, содержащихся в поле данных управления логическими связями (LLC - Logical Link Control). В большинстве Ethernet-протоколах это поле содержит постоянную величину, указывающую на тип протокола (в данном случае эта поле имеет обозначение EtherType).

- данные MAC-клиента - это поле может содержать от 0 до 1500 байтов данных, предоставленных пользователем.

- заполняющие байты - необязательное поле для заполнения фиктивными данными, используемое для увеличения длины коротких кадров по меньшей мере до 64 байтов.

- контрольная последовательность кадра (FCS) - поле, содержащее четыре контрольных байта, сгенерированных кодом циклического контроля избыточности (CRC). Поле FCS используется для обнаружения ошибок в данных, содержащихся в кадре. Для того, чтобы получить количество пакетов для разных типов трафика исходя из объёма трафика нужно этот объем разделить на длину одного пакета для трафика соответствующего типа. Как уже было сказано выше, длина кадра может изменяться от 72 до 1526 байтов. В роли обслуживающего прибора в модели сети кафедры будет выступать сервер и канал передачи данных к серверу. Так как имеем многомерный трафик, то для решения поставленной задачи использована методика приведения

неоднородного потока заявок к однородному потоку т.н. «обобщенных» заявок. Для проверки правильности предложенной методики проведены также расчеты по программе Opnet IT Guru Academic Edition.

Из таблицы 4.1 получим интенсивности по всем основным типам трафика (HTTP, FTP и NETBIOS) от клиентов к серверу и от сервера к клиентам. Причем, будем считать трафик в пакетах максимального размера, т.е. 1526 байт. А также рассчитаем $\lambda_i^{Пр}$ - интенсивность поступления потока обобщенных по каждому из протоколов заявок в двух направлениях, т.е. от ПК к серверу и от сервера к ПК по формуле (4.1).

$$\lambda_i^{Пр} = \sum_{m=1}^M \lambda_i^{(m)}, \quad (4.1)$$

Полученные интенсивности сведены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Интенсивности поступления заявок

ПК	HTTP		FTP		NetBIOS	
	Отправлен о к серверу, пакетов/сек	Получено от сервера, пакетов/сек	Отправлен о к серверу, пакетов/сек	Получено от сервера, пакетов/сек	Отправлен о к серверу, пакетов/сек	Получено от сервера, пакетов/сек
ПК1	0,2937	15,3191	12,5378	9,6200	13,0997	11,8057
ПК2	0,2047	14,7840	8,7176	4,8122	9,5141	13,8765
ПК3	0,0818	17,2649	8,2924	10,8193	8,3263	10,1705
ПК4	0,1613	18,6010	3,7968	17,1879	3,9171	16,6097
ПК5	0,2336	16,4268	5,8290	12,9240	9,6355	11,0542
ПК6	0,1727	9,01126	8,9556	6,8714	9,3569	8,4326
ПК7	0,3455	0,86773	7,2647	4,0102	7,1895	9,7427
ПК8	0,0481	10,1558	6,3788	8,3225	6,2318	6,0374
ПК9	0,0948	9,29709	3,4516	7,8127	3,5610	7,5498
ПК10	0,1374	9,66287	4,8575	5,8745	8,7596	9,2118
$\lambda_i^{Пр}$	1,7741	121,3908	70,0822	88,2551	79,5920	104,4912

Интенсивность поступления потока обобщенных заявок по всем протоколам от ПК к серверу рассчитывается аналогично по формуле (4.1).

Таким образом получаем:

$$\lambda_i^{об} = 1,7741 + 121,3908 + 70,0822 + 88,2551 + 79,5920 + 104,4912 = 465,584 \text{ пак/с.}$$

Теперь необходимо рассчитать интенсивность обслуживания поступающих заявок по всем протоколам, учитывая, что сервер имеет встроенную сетевую карту с пропускной способностью 100 Мбит/с.

В сетях различают эффективную и номинальную пропускную способность. Номинальная (полная) пропускная способность это битовая

скорость передачи данных, которая поддерживается на интервале передачи одного пакета.

Эффективная (полезная) пропускная способность - это средняя скорость передачи пользовательских данных, т.е. данных, содержащихся в поле данных каждого пакета.

Для сетей FastEthernet межкадровый интервал составляет 0,96 мкс. Размер кадра минимальной длины 576 бит (он содержит 8 байт преамбулы, 14 байт служебной информации, 46 байт пользовательских данных и 4 байта контрольной суммы), и на его передачу необходимо 5,76 мкс. Период повторения кадров равен $5,76+0,96=6,72$ мкс. Отсюда максимальная возможная пропускная способность сегмента равна 148809 кадров в секунду.

Для сетей FastEthernet кадр максимальной длины состоит из 1526 байт или 12208 бит. Он содержит 8 байт преамбулы, 14 байт служебной информации, 1500 байт пользовательских данных и 4 байта контрольной суммы.

Время передачи такого кадра равно 122,08 мкс, период повторения кадров равен $122,08+0,96=123,04$ мкс. Отсюда максимальная возможная пропускная способность сегмента равна 8127 кадров в секунду.

Учитывая периоды повторения кадров минимальной и максимальной длины, рассчитанные выше, получим эффективную пропускную способность сети Fast Ethernet. Для кадров минимальной длины эффективная пропускная способность сети равна $148809 \cdot 46 \cdot 8 = 54,76$ Mb/c.

Для кадров максимальной длины эффективная пропускная способность сети равна $8127 \cdot 1500 \cdot 8 = 97,52$ Mb/c.

Интенсивность обслуживания рассчитывается по формуле (4.2):

$$\mu_i = \frac{c_i}{B}, \quad (4.2)$$

где c_i - пропускная способность i -го канала, б/с, B – средняя длина пакета.

$$\mu = \frac{97,52 \cdot 1000 \cdot 1000}{8 \cdot 1526} = 7988,2 \text{ пак/с.}$$

Таким образом, учитывая, что длина пакета равна 1526 байт, получаем интенсивность обслуживания $\mu = 7988,2$ пак/с.

Среднее время обслуживания обобщенной заявки рассчитывается по формуле (4.3):

$$\bar{\tau}_{\mu i}^{\text{об}} = \sum_{m=1}^M (\lambda_i^{(m)} / \mu_i^{(m)}) / \lambda_i^{\text{об}}, \quad (4.3)$$

Для нашей задачи это время равно:

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_{\mu}^{\text{об}} &= (\lambda^{(1)} / \mu) / \lambda^{\text{об}} + (\lambda^{(2)} / \mu) / \lambda^{\text{об}} + (\lambda^{(3)} / \mu) / \lambda^{\text{об}} = (123,1644 / 7988,2) / 464,584 + \\ &+ (158,337 / 7988,2) / 464,584 + (184,083 / 7988,2) / 464,584 = 0,0000331 + 0,0000426 + \\ &+ 0,0000496 = 0,1253 \text{ мс.} \end{aligned}$$

Тогда коэффициент загрузки СМО потоком обобщенных заявок $\rho_i^{\text{об}}$ составит

$$\rho_i^{\text{об}} = \lambda_i^{\text{об}} \cdot \bar{\tau}_{\mu i}^{\text{об}} = \sum \lambda_i^{(m)} / \mu_i^{(m)} = 464,584 \cdot 0,0001253 = 0,058.$$

При помощи программной системы PROBMOD рассчитаем загрузку канала связи для случая, когда интервалы времени между поступлением и обслуживанием заявок распределены по экспоненциальному закону. На рисунках 4.10,4.11,4.12 представлены результаты расчетов основных характеристик сети по матрицам вероятностей передач, приведенным в таблицах 4.3-4.5.

Результат расчёта характеристик сети с неоднородным трафиком.

Число узлов = 11 Тип трафика: Тип 1 Узлы GG1
 Количество типов заявок = 3 Сохранить

Характеристики трафика				Характеристики узлов сети			
Ном. уз	Ин. вх. поток	Ср.вр.ож.	Вр. отклика	Ном. уз	Загр.	Сред. чис. за	Сред. дл. оч.
Узел 1	1,7E2	0,00006	0,00018	Узел 1	0,02100	0,03100	0,00970
Узел 2	15,00000	0,00005	0,00017	Узел 2	0,00190	0,00260	0,00073
Узел 3	15,00000	0,00005	0,00017	Узел 3	0,00190	0,00260	0,00073
Узел 4	15,00000	0,00005	0,00017	Узел 4	0,00190	0,00260	0,00073
Узел 5	15,00000	0,00005	0,00017	Узел 5	0,00190	0,00260	0,00073
Узел 6	15,00000	0,00005	0,00017	Узел 6	0,00190	0,00260	0,00073
Узел 7	15,00000	0,00005	0,00017	Узел 7	0,00190	0,00260	0,00073
Узел 8	15,00000	0,00005	0,00017	Узел 8	0,00190	0,00260	0,00073
Узел 9	15,00000	0,00005	0,00017	Узел 9	0,00190	0,00260	0,00073
Узел 10	15,00000	0,00005	0,00017	Узел 10	0,00190	0,00260	0,00073
Узел 11	15,00000	0,00005	0,00017	Узел 11	0,00190	0,00260	0,00073

Характеристики сети:			
Тип траф.	Вр. отклика	Ср.вр.ож.	Сред. чис. за
1,00000	0,00340	0,00100	0,05700

Ok

Рисунок 4.10 – Основные характеристики сети для HTTP трафика

Результат расчёта характеристик сети с неоднородным трафиком.

Число узлов = 11 Тип трафика: Тип 2 Узлы GG1
 Количество типов заявок = 3 Сохранить

Характеристики трафика				Характеристики узлов сети			
Ном. уз	Ин. вх. поток	Ср.вр.ож.	Вр. отклика	Ном. уз	Загр.	Сред. чис. за	Сред. дл. оч.
Узел 1	1,5E2	0,00006	0,00019	Узел 1	0,01900	0,02800	0,00960
Узел 2	13,00000	0,00005	0,00017	Узел 2	0,00170	0,00230	0,00065
Узел 3	13,00000	0,00005	0,00017	Узел 3	0,00170	0,00230	0,00065
Узел 4	13,00000	0,00005	0,00017	Узел 4	0,00170	0,00230	0,00065
Узел 5	13,00000	0,00005	0,00017	Узел 5	0,00170	0,00230	0,00065
Узел 6	13,00000	0,00005	0,00017	Узел 6	0,00170	0,00230	0,00065
Узел 7	13,00000	0,00005	0,00017	Узел 7	0,00170	0,00230	0,00065
Узел 8	13,00000	0,00005	0,00017	Узел 8	0,00170	0,00230	0,00065
Узел 9	13,00000	0,00005	0,00017	Узел 9	0,00170	0,00230	0,00065
Узел 10	13,00000	0,00005	0,00017	Узел 10	0,00170	0,00230	0,00065
Узел 11	13,00000	0,00005	0,00017	Узел 11	0,00170	0,00230	0,00065

Характеристики сети:			
Тип траф.	Вр. отклика	Ср.вр.ож.	Сред. чис. за
2,00000	0,00340	0,00110	0,05200

Ok

Рисунок 4.11 – Основные характеристики сети для FTP трафика

Таким образом, исходя из результатов моделирования (рисунки 4.10,4.11,4.12) нагрузка линии связи сервера равна

$$\rho_i^{об} = \lambda_i^{об} \cdot \bar{\tau}_{\mu_i}^{об} = \sum \lambda_i^{(m)} / \mu_i^{(m)} = 0,021 + 0,019 + 0,02 = 0,06, \text{ т.е. фактически совпадает}$$

с расчетной 0,058. Погрешность составляет 3,33%.

Для проверки полученных результатов проведем исследование сети кафедры ВТ при помощи программной системы OPNET Modeler. При этом интенсивности поступления разного типа трафика возьмем те же, что и в первом эксперименте. Схема сети представлена на рисунке 4.1.

Результат расчёта характеристик сети с неоднородным трафиком.

Число узлов = 11
 Количество типов заявок = 3
 Тип трафика: Тип 3
 Узлы GG1
 Сохранить

Характеристики трафика				Характеристики узлов сети			
Ном. уз	Ин. вх. поток	Ср.вр.ож.	Вр. отклика	Ном. уз	Загр.	Сред. чис. за	Сред. дл. оч.
Узел 1	1,6E2	0,00006	0,00019	Узел 1	0,02000	0,03000	0,00960
Узел 2	14,00000	0,00005	0,00017	Узел 2	0,00180	0,00250	0,00069
Узел 3	14,00000	0,00005	0,00017	Узел 3	0,00180	0,00250	0,00069
Узел 4	14,00000	0,00005	0,00017	Узел 4	0,00180	0,00250	0,00069
Узел 5	14,00000	0,00005	0,00017	Узел 5	0,00180	0,00250	0,00069
Узел 6	14,00000	0,00005	0,00017	Узел 6	0,00180	0,00250	0,00069
Узел 7	14,00000	0,00005	0,00017	Узел 7	0,00180	0,00250	0,00069
Узел 8	14,00000	0,00005	0,00017	Узел 8	0,00180	0,00250	0,00069
Узел 9	14,00000	0,00005	0,00017	Узел 9	0,00180	0,00250	0,00069
Узел 10	14,00000	0,00005	0,00017	Узел 10	0,00180	0,00250	0,00069
Узел 11	14,00000	0,00005	0,00017	Узел 11	0,00180	0,00250	0,00069

Характеристики сети:			
Тип траф.	Вр. отклика	Ср.вр.ож.	Сред. чис. за
3,00000	0,00340	0,00100	0,05500

Ok

Рисунок 4.12 – Основные характеристики сети для NetBIOS трафика

Как уже было сказано ранее локальную вычислительную сеть кафедры ВТ образуют три подсети (каждая подсеть представляет собой компьютерный класс) и одного сервера (рисунок 4.1). В качестве подсети используется стандартный объект 100BaseT_LAN, представляющий собой сеть Fast Ethernet коммутируемой топологии (Fast Ethernet LAN in a switched topology). Все ПК обслуживает один сервер. Поддерживаются следующие виды приложений: FTP, HTTP, трафик NetBIOS и другие. Количество рабочих станций в подсети 10.

Сервер предоставляет возможность работы приложений как по TCP, так и по UDP. Подключение составляет 100 Мбит и определяется пропускной способностью подключенного канала связи.

У коммутаторов имеется возможность подключать до 16 Ethernet интерфейсов. Алгоритм связывающего дерева (Spanning Tree algorithm) используется для обеспечения топологии без колец. Коммутаторы взаимодействуют между собой путем посылки BPDU (Bridge Protocol Data Units) пакетов. Коммутатор может объединять сети только одного типа (Ethernet - Ethernet, FDDI - FDDI, or Token Ring - Token Ring).

Полученные после моделирования сегмента сети кафедры результаты приведены на рисунке 4.13.

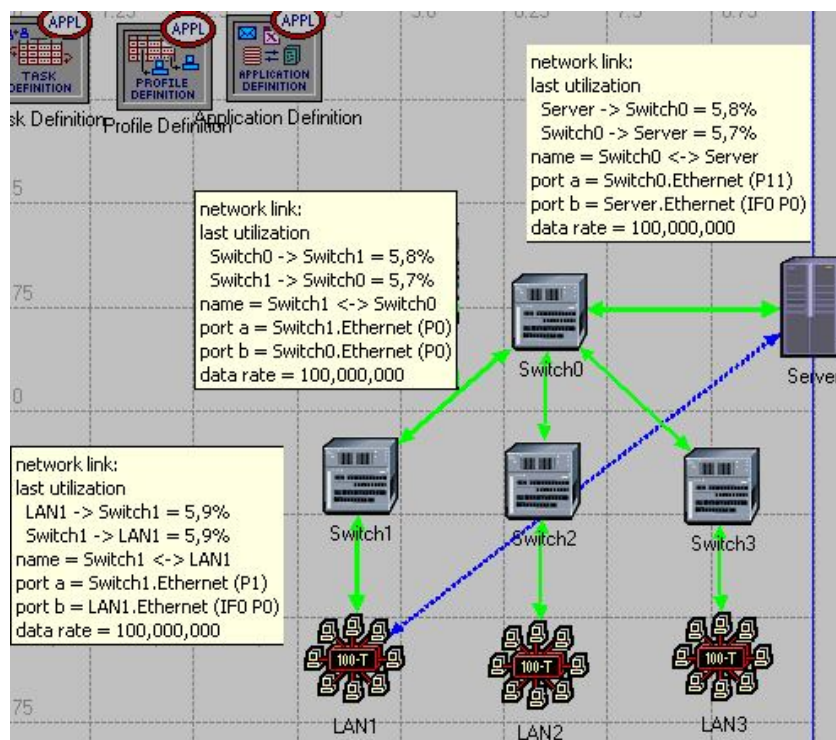


Рисунок 4.13 – Результаты моделирования в программной системе OPNET Modeler

Из рисунка 4.13 видно, что загрузка линии связи сервера равна рассчитанной ранее и полученной в программной системе PROBMOD, что говорит о достоверности полученных данных.

Для реальных сетей передачи данных такая загрузка линий связи (порядка 10 %) является низкой и встречается довольно редко. В большинстве случаев имеем загрузку равную половине величины пропускной способности физической линии связи, на которой эта загрузка измеряется, а в худшем случае - загрузку значительно превышающую половину пропускной способности. Также малая загрузка линии связи сервера объясняется тем, что мы моделировали не всю сеть кафедры, а ее сегмент для упрощения построения матрицы вероятностей передачи заявок, и трафик передавался только между компьютерами нашего сегмента и сервером. Трафик же между остальными сегментами отсутствовал. Такой тип подключения пользователей называется PPPoE, то есть «точка-точка». Подобное соединение используется в случае, когда необходимо жестко контролировать трафик пользователей, предотвращать несанкционированное подключение к сети, и тарифицировать

использование ресурсов сети (файловое хранилище, организация игровых серверов и т.д.). Из вне трафик в подобную систему попадает только через сервер, то есть такие сетевые сервисы как доступ в Интернет, электронная почта предоставляются клиентам непосредственно от сервера.

Поэтому усложним нашу задачу и проведем моделирование сети кафедры в случае, когда структура трафика между узлами сети, так называемая mesh-топология, т.е. трафик «от каждого узла сети к каждому».

Предложенная схема трафика и результаты моделирования сети представлены на рисунке 4.14.

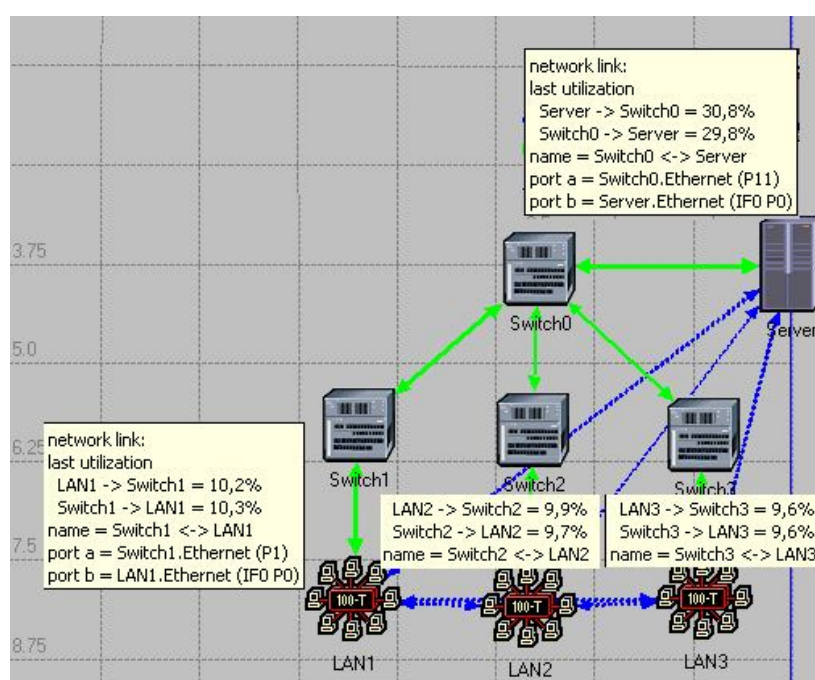


Рисунок 4.14 – Результаты моделирования сети со структурой трафика типа mesh

По рисунку 4.14 можно сделать вывод о том, что загрузка линии связи сервера увеличилась в несколько раз и стала порядка 30%.

Время отклика приложений пользователя и задержки Ethernet также как и загрузка линии связи сервера совпадают с полученными в программной системе PROVMOD. А именно задержка Ethernet для всех трех протоколов передачи данных равна 0,001с (рисунки 4.10-4.12) и равна в среднем 0,0011с по результатам моделирования в OPNET Modeler (рисунок 4.16). Время отклика приложений по протоколам HTTP, FTP, NetBIOS составило 0,0034с по

программной системе PROBMOD (рисунки 4.10-4.12) и 0,0037с - по результатам OPNET (рисунок 4.15).

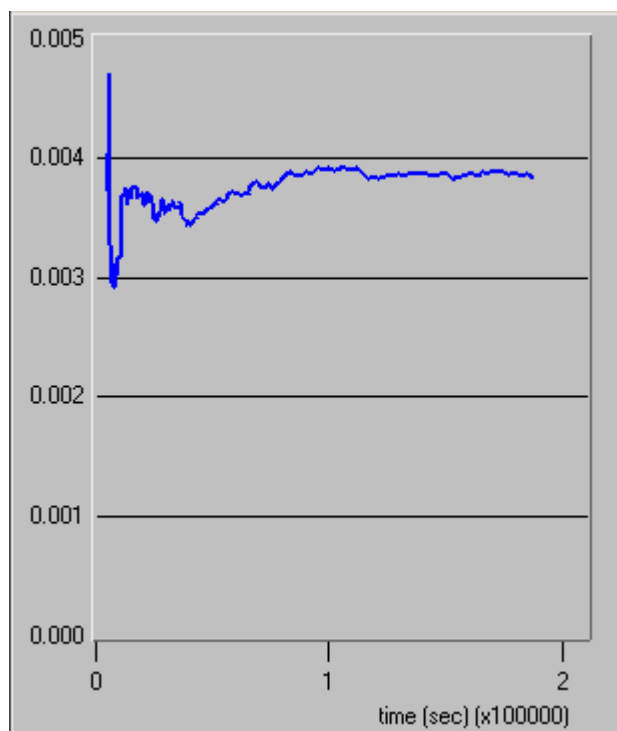


Рисунок 4.15 – Время отклика приложений протоколов HTTP, FTP, NetBIOS

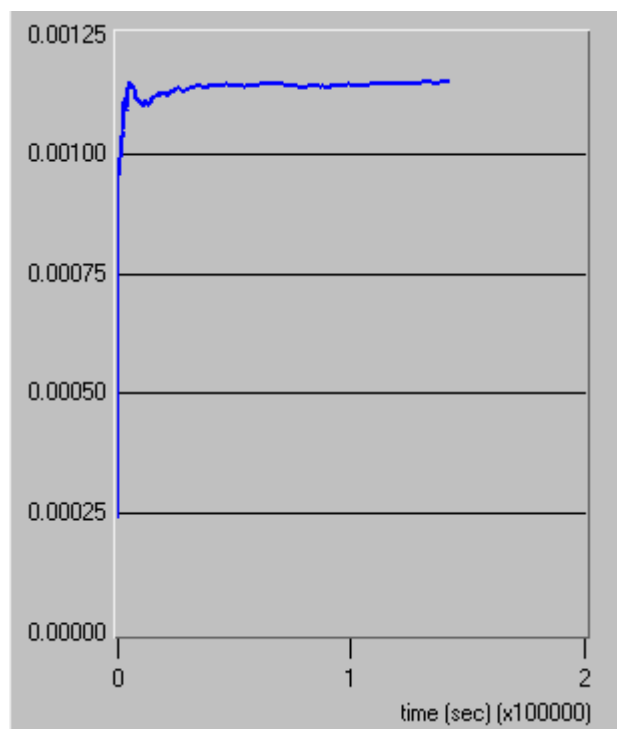


Рисунок 4.16 – Задержка Ethernet для протоколов HTTP, FTP, NetBIOS

Значения задержки и времени отклика на рисунках 4.15 и 4.16 получены для случая, когда в сети передавал данные только один сегмент сети кафедры как показано на рисунке 4.13.

Далее приведены результаты для всех 3-х сегментов исследуемой сети кафедры (рисунки 4.17 и 4.18).

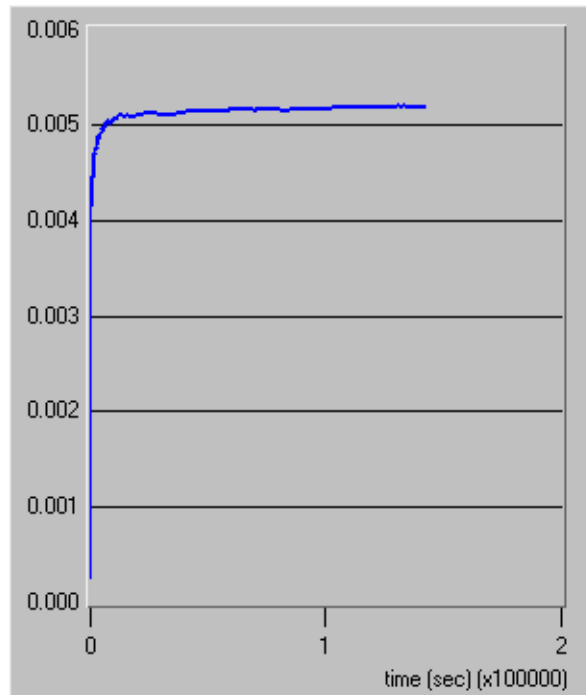


Рисунок 4.17 - Задержка Ethernet для протоколов HTTP, FTP, NetBIOS

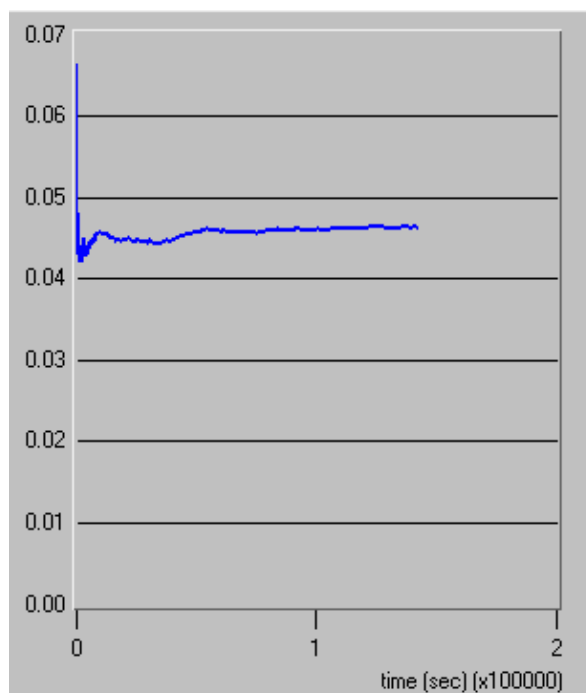


Рисунок 4.18 - Время отклика приложений протоколов HTTP, FTP, NetBIOS

Из рисунков видно, что задержка Ethernet при условии, что задействованы все 3 сегмента сети кафедры выросла в 4,727 раза (была 0,0011с, стала 0,0052с) по сравнению со случаем, когда работает только один сегмент вышеуказанной сети.

Время отклика приложений также возросло с 0,0037с до 0,047с, т.е. в 12,7 раза.

4.2 Проектирование сети кафедры

4.2.1 Решения и рекомендации по улучшению временных характеристик сети кафедры

В случае расширения локальной сети нагрузка на сервер станет еще больше, поэтому предлагается повысить пропускную способность линии связи сервера путем замены этого подключения со 100Мб/с на 1000Мб/с.

На рисунке 4.19 представлены результаты моделирования сети кафедры после замены сетевого подключения сервера. Таким образом, появился значительный запас пропускной способности для расширения сети, так как нагрузка упала с 30 (рисунок 4.14) до 3%.

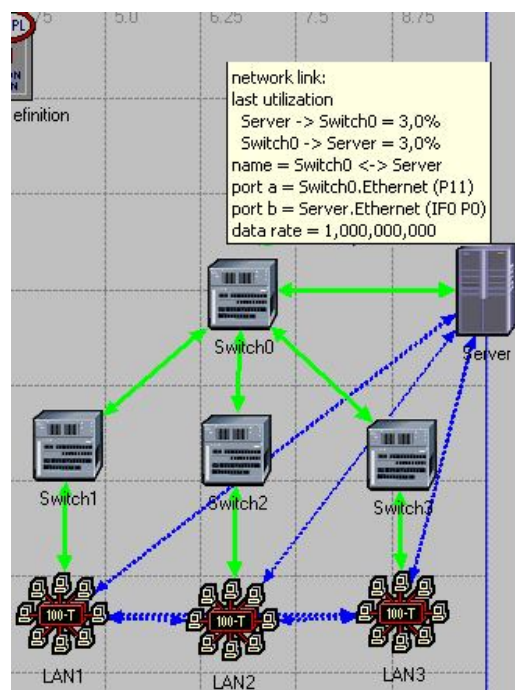


Рисунок 4.19 – Результаты моделирования сети кафедры после замены подключения сервера

Кроме замены сетевого подключения сервера, которое будет сопровождаться еще и заменой оборудования, произведем структурное преобразование сети. Например, приведем топологию к чистой звезде (рисунок 4.20).

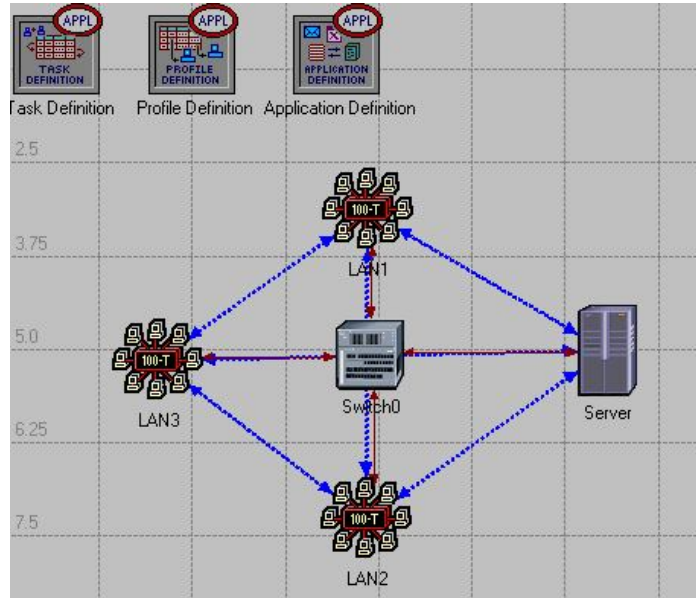


Рисунок 4.20 – Сеть кафедры с топологией «Звезда»

Такой подход позволит сократить число коммутаторов сети и снизить стоимость модернизации в несколько раз. На рисунках 4.21 и 4.22 показаны значения задержки и времени отклика для варианта сети с топологией звезда.

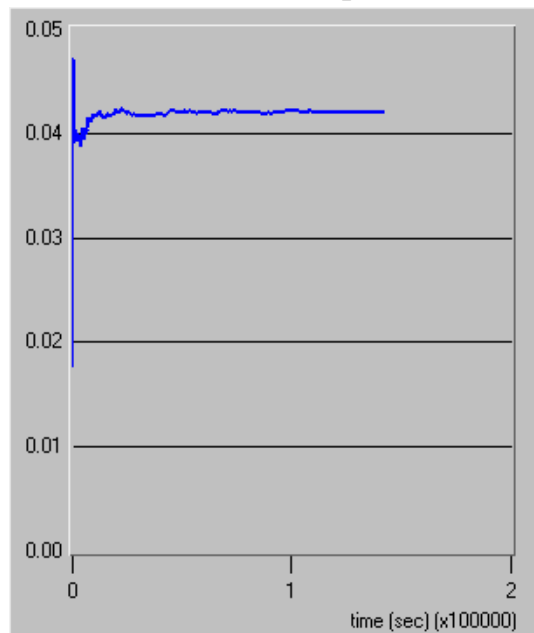


Рисунок 4.21 - Время отклика приложений протоколов HTTP, FTP, NetBIOS

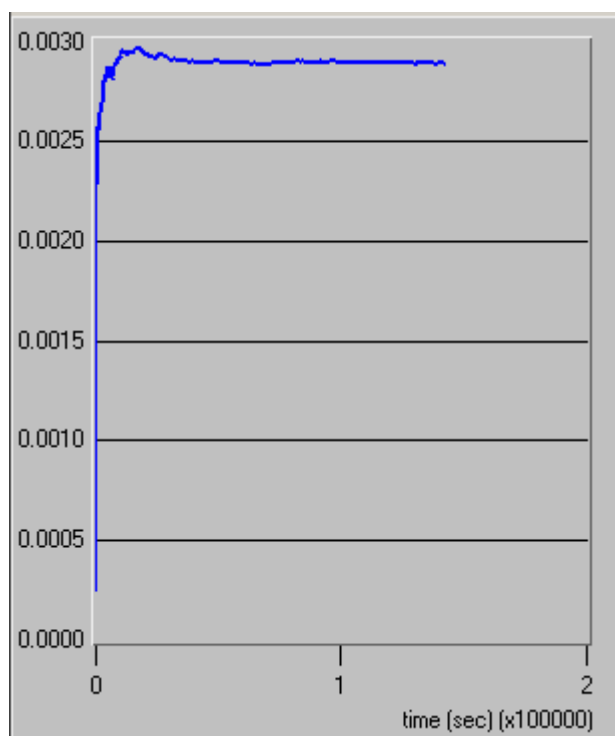


Рисунок 4.22 - Задержка Ethernet для протоколов HTTP, FTP, NetBIOS

Как видно из рисунков 4.21 и 4.22 при изменении структуры сети кафедры, т.е. приведении к топологии «звезда» наблюдаем уменьшение времени отклика приложений по протоколам HTTP, FTP, NetBIOS и уменьшение задержки Ethernet с 0,0052с до 0,0028 с.

4.2.2 Проектирование сети кафедры при помощи NetWizard

Для нового варианта сети кафедры, т.е. для сети с топологией «звезда» рассчитаем его сметную стоимость при помощи проекта NetWizard [45]. Схема сети представлена на рисунке 4.23. Сметная стоимость этого варианта сети приведена в таблице 4.7.

Бесплатный онлайн-сервис NetWizard (www.netwizard.ru) создан несколько лет назад сотрудниками компании «Тауэр Сети». В настоящее время он представлен в своей третьей версии и ориентирован на активное оборудование подразделения ProCurve Networking компании HP (а также 3Com, но на платной основе).

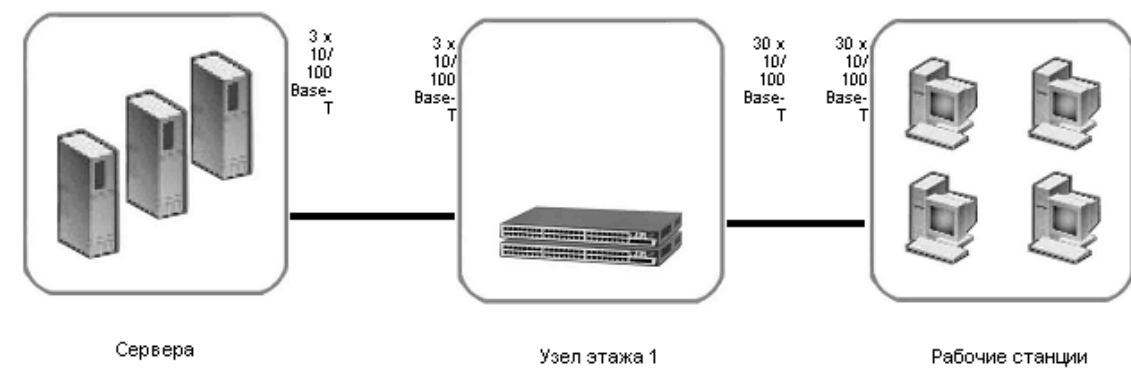


Рисунок 4.23 – Схема окончательного варианта сети в NetWizard

При этом ассортимент активного сетевого оборудования и цены на него постоянно поддерживаются в актуальном виде, что крайне важно для решения возникающих у пользователей практических вопросов.

Работа с системой NetWizard происходит в интерактивном режиме. При этом опытный инженер может оперировать многочисленными параметрами в соответствии с международными стандартами RFC и IEEE и вручную уточнять предлагаемые системой варианты оборудования. В простейшем же случае Web-проектировщик попросит ответить на несколько несложных вопросов, а затем автоматически сформирует смету с перечнем подходящего активного оборудования.

При выборе Ethernet коммутаторов – основных компонентов сетей, анализируются требуемые сетевые технологии, закреплённые в стандартах международных комитетов RFC и IEEE. Для каждого из коммуникационных узлов подбирается нужное количество Ethernet коммутаторов в зависимости от числа подключённых рабочих станций. Если последние по зданию распределены неравномерно, NetWizard оптимизирует количество коммуникационных узлов и нагрузку на каждый из них.

В каждом проекте NetWizard может быть описана ЛВС на нескольких этажах в рамках одного здания. Корпоративная сеть в пределах нескольких зданий может быть описана с помощью нескольких проектов. Для этого в каждом из проектов компьютерной сети здания нужно указать, что она соединяется с сетями других зданий.

Таблица 4.7 - Сметная стоимость прокладки сети кафедры ВТ

Артикул	Наименование товара	Ед. изм	Кол-во	Цена, \$	Сумма, \$
Кабельные каналы					554,07
NCT1050	Короб 100x50	м	36	8,74	314,64
NCII050	Соединитель 100x50	шт	12	1,46	17,52
NJC1050	Заглушка на шов 100x50	шт	12	1,46	17,52
NAF1050	Плоский угол 100x50	шт	6	4,72	28,32
NWP1050	Заглушка внутренняя 100x50	шт	9	2,18	19,62
YT4	Короб 40x25	м	54	2,28	123,12
YC4	Соединитель 40x25	шт	24	0,56	13,44
YEP4	Заглушка 40x25	шт	9	0,39	3,51
YAF4	Плоский угол 40x25	шт	18	0,91	16,38
Пассивное сетевое оборудование					2 260,26
PID-00058	19" Patch Panel, 24xRJ45 KATT with cover, 568B, UTP, Power Cat, 1U, Graphite	шт	3	96,49	289,47
91.ST.240.D001G	19" Fiber Optic 24xST Unloaded Panel, 1U, Graphite	шт	3	62	186
25.B016G	19" Ring Run (Jumper) Panel, 1U, Graphite	шт	6	18,47	110,82
84-5-STA-DIM	ST MM Coupling (adapter)	шт	8	2,44	19,52
45.0B.011.D022E	Patch Cord RJ45, 568B-N, UTP stranded, PowerCat, 1m, Grey	шт	18	3,75	67,5
45.0B.011.D024E	Patch Cord RJ45, 568B-N, UTP stranded, PowerCat, 3m, Grey	шт	18	4,92	88,56
91.2123.622.003	FO Patch Cord, DuplexMM, SC-ST, 3 m	шт	3	35,17	105,51
SXSCST62-5	Комм шнур BO, SC-ST, 9/125, Simplex 9/125, 1 метр	шт	1	25,4	25,4
39-504-PS	UTP PVC Cable PowerCat 4-pair	м	648	0,34	220,32
MX86012-0200	ST-MM Epoxy Connector - Black Boot	шт	4	5,72	22,88
17.1B.011.A042P	Euromod 1xRJ45, M1 Straight, 568B, UTP, PoweCat, White	шт	36	3,5	126
17-0413-02	Euromod Blank, M1, White	шт	36	0,65	23,4
42-501-32	Розеточная коробка для установки на плоскую поверхность Surface Box UK 1G 32mm	шт	36	2,52	90,72
17-0111-02	Лицевая панель розетки Labelled Single Gang Wallplate, United Kindom, 86x86x10mm, White	шт	36	1,56	56,16
95F096A020	Кабель BO 2 жильн., 62,5/125, Duplex-cord	м	100	0,78	78
SWJ-003-2	Шкаф настенный 19", 15U, 737x600x300, со стеклянной дверью в стальной раме	шт	3	250	750
Работы по монтажу сети					2 128,40
MUTP5	Прокладка кабеля UTP	м	648	0,3	194,4
MOPTCAB	Прокладка оптоволоконного кабеля	м	100	2	200
MKOROBV	Монтаж короба на бетонной стене	м	60	2,5	150
MROZ1B	Установка розетки RJ-45 на бетонной стене	шт	36	15	540
MRACK	Установка шкафа	шт	3	150	450
MPATCH	Монтаж патч-панели, 1 порт	шт	36	4	144
MST	Оконцовка оптоволоконного кабеля ST коннектором	шт	8	20	160
TOPT	Тестирование оптоволоконного порта	шт	2	5	10
TUTP	Тестирование UTP/STP порта	шт	36	5	180
MDOC	Подготовка документации на СКС	шт	1	100	100
Активное сетевое оборудование					1272
Коммутатор	HP ProCurve Switch 2510-24	шт	2	424	848
ИТОГО					5790,73

4.3 Исследование корпоративных сетей

Корпоративные сети, являясь комплексом взаимосвязанных объектов, предъявляют определенные требования к их разработчикам и проектировщикам. Сложность постановки и решения целого ряда проблем проектирования большой корпоративной сети приводит к необходимости использования процедуры, основанной на декомпозиции. Это означает, что проектирование корпоративной сети заключается в независимом проектировании отдельных подсетей при условии, что решения задачи проектирования корпоративной сети и соответствующих решений для подсетей аналогичны или совпадают [1].

Физическая структуризация сети полезна во многих отношениях, однако в ряде случаев, обычно относящихся к сетям большого и среднего размера, невозможно обойтись без логической структуризации сети. Наиболее важной проблемой, не решаемой путем физической структуризации, остается проблема перераспределения передаваемого трафика между различными физическими сегментами сети.

В большой сети естественным образом возникает неоднородность информационных потоков: сеть состоит из множества подсетей рабочих групп, отделов, филиалов предприятия и других административных образований. Очень часто наиболее интенсивный обмен данными наблюдается между компьютерами, принадлежащими к одной подсети, и только небольшая часть обращений происходит к ресурсам компьютеров, находящихся вне локальных рабочих групп. (До недавнего времени такое соотношение трафиков не подвергалось сомнению, и был даже сформулирован эмпирический закон «80/20», в соответствии с которым в каждой подсети 80 % трафика является внутренним и только 20 % - внешним.) Сейчас характер нагрузки сетей во многом изменился, широко внедряется технология intranet, на многих предприятиях имеются централизованные хранилища корпоративных данных, активно используемые всеми сотрудниками предприятия. Все это не могло не

повлиять на распределение информационных потоков. И теперь не редки ситуации, когда интенсивность внешних обращений выше интенсивности обмена между «соседними» машинами. Но независимо от того, в какой пропорции распределяются внешний и внутренний трафик, для повышения эффективности работы сети неоднородность информационных потоков необходимо учитывать.

Поэтому разработанные модели могут быть использованы для исследования корпоративных сетей при их декомпозиции до уровня локальных вычислительных сетей.

Выводы

1. При решении поставленной задачи для моделирования узлов сети и расчета их основных характеристик использован метод двумерной диффузионной аппроксимации процессов функционирования СМО типа GI/G/1.

2. При моделировании неоднородного трафика сети и расчете ее характеристик использована методика декомпозиции сети СМО на отдельные узлы на уровне двух первых моментов распределений интервалов поступления и обслуживания.

3. Полученные при помощи программной системы PROBMOD результаты подтверждаются расчетами, а также аналогичными данными в пакете OPNET Modeler, что говорит о правильности применяемого подхода для расчета основных характеристик сети Ethernet, таких как загрузка линии, задержки Ethernet, время отклика пользовательских приложений и достоверности полученных результатов.

4. Подобный подход использован для исследования узких мест различных сетей с целью повышения их производительности.

5. Для измерения реального трафика сети использованы демо-версии программных средств Tmeter и PRTG Traffic Grapher. Эти приложения

позволяют подсчитывать трафик по различным сетевым протоколам. На основе полученных данных по предложенной методике построены матрицы вероятностей передачи заявок для трех протоколов (HTTP, FTP и NetBIOS).

6. Представлена окончательная структурная схема сети и ее сметная стоимость с использованием пакета NetWizard.

Заключение

Данная работа посвящена исследованию и разработке аналитических и имитационных моделей сетей ЭВМ с неоднородными потоками. Основные результаты работы сформулируем следующим образом:

1. На основе предложенных математических моделей мультиплексирования и демупльтиплексирования потоков исследована точность метода декомпозиции сетей на отдельные узлы на уровне средних значений и дисперсий времен поступления и обслуживания.

2. Разработаны аналитические и имитационные модели сетей Центробанка РФ и кафедры вычислительной техники ГОУ ВПО ОГУ, учитывающие неоднородность трафика, с использованием методики построения матриц вероятностей передач. Для расчета показателей производительности аналитических моделей разработана программная система.

3. Разработанные модели сетей для оценки их адекватности исследованы средствами GPSS и системы OPNET Modeler. Определены основные показатели производительности исследуемых сетей, начиная от загрузки сервера Центробанка РФ, загрузки сетевого интерфейса сервера кафедры вычислительной техники ГОУВПО ОГУ до задержек и времен отклика приложений пользователей.

4. Проведено сравнение полученных результатов с помощью разработанной программной системы моделирования с результатами имитационных программных систем моделирования. Показано, что значения характеристик обеих сетей, рассчитанные по аналитическим моделям, отличаются от результатов имитации на несколько процентов (максимальная погрешность 3,4%), что говорит о высокой точности разработанных аналитических моделей.

5. В работе показано, что основные показатели производительности сетей, полученные по разработанным моделям точнее и оптимистичнее, чем вычисленные традиционным методом по средним значениям потоков.

6. В работе также показано, что разработанные модели могут быть использованы для исследования больших корпоративных сетей при их декомпозиции до уровня локальных вычислительных сетей.

7. На основании результатов диссертационной работы разработаны рекомендации для повышения производительности сетей ЭВМ, а именно:

- показано, что сервер сети банка имеет значительный ресурс на увеличение своей загрузки с 33 до 70% при повышении интенсивности входного потока заданий, порог которой также рассчитан;

- показано, что загрузка сетевого интерфейса сервера кафедры уменьшается примерно в 10 раз (с 30,8% до 3,0%) при использовании сетевого интерфейса с большей пропускной способностью; задержка Ethernet уменьшается при использовании топологии сети «чистая звезда» примерно в два раза (с 5,2 мс до 2,8 мс), а время отклика приложений пользователя уменьшилось незначительно. Это позволяет расширить сеть путем добавления нескольких сегментов, количество которых рассчитывается в зависимости от используемых в них приложений.

Список использованных источников

- 1 Вишнеvский, В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В. М. Вишнеvский. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
- 2 Клейнрок, Л. Вычислительные системы с очередями: пер.с англ / Л. Клейнрок – М.:Мир,1979. – 600 с.
- 3 Берёзко, М. П. Математические модели исследования алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных / М. П. Берёзко, В. М. Вишнеvский, Е. В. Левнер, Е. В. Федотов // Информационные процессы. – 2001. – Том 1. – №2. – С. 103-125.
- 4 Средства анализа и оптимизации локальных сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dlink.ru/technology/olifer.php>
- 5 Компьютерные системы и технологии: лабораторный практикум / Под ред. Л. Д. Забродина. – М.: Диалог – МИФИ, 2001. – 336 с.
6. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
7. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 272 с.
8. Соболев, И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболев. – М.: Наука, 1968. – 64 с.
9. Шварц, М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование: пер. с англ. / Под ред. В. А. Жожикашвили. – М.: Радио и связь, 1982. – 336 с.
10. Советов, Б. Я. Моделирование систем: учеб. для вузов – 3 изд., перераб. и доп. / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.: ил.
11. Кудрявцев, Е. М. GPSS World. Основы моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.
12. Боев, В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World: учеб.пособие / В. Д. Боев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.
13. Имитационное моделирование компьютерных сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sduto.ru/32/40/1268/index1.3.html>

14. Тарасов, В. Н. Проектирование и моделирование сетей ЭВМ в системе OPNET Modeler: лабораторный практикум / В. Н. Тарасов, Н. Ф. Бахарева, А. Л. Коннов, Ю. А. Ушаков. – Самара, 2008. – 233 с.
15. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
16. Крылов, В. В. Теория телетрафика и её приложения / В. В. Крылов, С. С. Самохвалова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.: ил.
17. Основы теории вычислительных систем / Под ред. С. А. Майорова. – М.: Высшая школа, 1978. – 408 с.
18. Тарасов, В. Н. Компьютерное моделирование вычислительных систем. Теория, алгоритмы, программы / В. Н. Тарасов, Н. Ф. Бахарева. – Оренбург: ИПК ОГУ, 2004. – 183 с.
19. Тарасов, В. Н. Вероятностное компьютерное моделирование сложных систем / В. Н. Тарасов, Самара: СНЦ РАН, 2002. – 194 с.
20. Шрайбер, Т. Д. Моделирование на GPSS: пер. с англ / Т. Д. Шрайбер. – М.: Машиностроение, 1980. – 576 с.
21. Гнеденко, Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М.: Наука, 1987. – 431 с.
22. Советов, Б. Я. Моделирование систем. Практикум: учеб. пособие для вузов / Б. Я. Советов, С. Я. Яковлев. – М.: Высш. шк. 2003. – 295 с.
23. Павловский, Ю. Н. Имитационные модели и системы / Ю. Н. Павловский. – М.: Фазис: ВЦ РАН, 2000. – 134 с.
24. Тихонов, В. И. Марковские процессы / В. И. Тихонов, М. А. Миронов. – М.: Сов. Радио, 1977. – 488 с.
25. Тарасов, В. Н. Вероятностное компьютерное моделирование сложных систем для анализа их производительности: Дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.18: защищена 10.12.2002г. / Тарасов Вениамин Николаевич.- Оренбург, 2002. - 244 с. РГБ ОД, 71:04-5/66-1.
26. Тарасов, В. Н. Анализ сетевых моделей вычислительных систем на уровне двух моментов распределений параметров потоков / В. Н. Тарасов // Материалы 5

- конференции молодых ученых УДН / Матем., физика, химия/. – Москва, 1982. - Ч. 1. - С. 72-75. Деп. 15 июля 1982, № 3814-82.
27. Тарасов, В. Н. Анализ сетевых моделей вычислительных систем при неоднородных потоках заявок / В.Н. Тарасов – Л., 1983. – 7 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ приборостроения 11 февраля 1983, № 2028.
28. Тарасов, В. Н. Вероятностное компьютерное моделирование вычислительных систем для анализа их производительности / В.Н. Тарасов. – Оренбург: Изд-во ОГУ, 2002. – 236 с.
29. Тарасов, В. Н. Вероятностно-статистические подходы к построению алгоритмов распознавания / Анализ структур электронной и вычислительной техники: межвузовский сб. научных трудов / В.Н. Тарасов; Оренбургский гос. техн. ун-т. - Оренбург, 1995. – 5 с.
30. Тарасов, В. Н. Методы расчета характеристик вычислительных систем на вероятностной основе / Анализ структур электронной и вычислительной техники: межвузовский сб. научных трудов / В.Н. Тарасов; Оренбургский гос. техн. ун-т.- Оренбург, 1996. – С.63-73.
31. Тарасов, В. Н. Непрерывная марковская модель системы массового обслуживания, зависящей от состояния системы / Деп. в ВИНТИ 25.12.1991. – №4761-В91. – 3 с.
32. Тарасов, В. Н. О новом подходе к анализу сетевых моделей вычислительных систем на уровне двух моментов / В кн.: Методы анализа и моделирования вычислительных сетей; 9-ая Всесоюзная школа-семинар по вычислительным сетям. – М., 1984. – С. 47-48.
33. Кругликов, В. К. Анализ и расчет сетей массового обслуживания методом двумерной диффузионной аппроксимации / В. К. Кругликов, В. Н. Тарасов // Известия АН СССР. Автоматика и телемеханика. – 1983. – №8. – С. 74-83.
34. Кругликов, В. К. Приближенный метод декомпозиции разомкнутой стохастической сети / В. К. Кругликов, В. Н. Тарасов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1983. – №6. – С. 142-147.

35. Кругликов, В. К. Анализ функционирования вычислительных систем при неоднородных потоках, заданных на уровне двух моментов распределений / В. К. Кругликов, Н. Б. Пикина, В. Н. Тарасов // Изв. ВУЗов СССР – Приборостроение. – 1984. – №1. – С. 40-43.
36. Кругликов, В. К. О новом подходе к методу диффузионного приближения в задачах моделирования вычислительных систем / В. К. Кругликов, В. Н. Тарасов // Автоматизированные системы массового обслуживания: сб. докл. всесоюзного совещания. – Москва, ИПУ. – 1982. – С. 87-88.
37. Кругликов, В. К. Приближенный метод декомпозиции разомкнутой стохастической сети / В. К. Кругликов, В. Н. Тарасов // Изв. АН СССР – Техническая кибернетика. – 1983. №6. – С. 142-147.
38. Кругликов, В. К. Непрерывные сетевые стохастические модели вычислительных систем и сравнительный анализ их точности / В. К. Кругликов, О. Г. Мясников, В. Н. Тарасов // Изв. ВУЗов СССР – Приборостроение. – 1986. – №11. – С. 34-38.
39. Кругликов, В. К. Расчет сетевых моделей вычислительных систем с конечной очередью / В. К. Кругликов, В. Н. Тарасов // Изв. ВУЗов СССР – Приборостроение. – 1982. – №11. – С. 53-57.
40. Кругликов, В. К. Расчет сетей массового обслуживания методом диффузионной аппроксимации / В. К. Кругликов, В. Н. Тарасов // Изв. ВУЗов СССР – Приборостроение. – 1982. – №5.– С. 48-52.
41. Бахарева, Н. Ф. Интерактивная система вероятностного моделирования компьютерных сетей на основе метода двумерной диффузионной аппроксимации : Дис. ... канд. техн. наук : 05.13.13: защищена 23.03.2004 / Бахарева Надежда Федоровна. - Оренбург, 2004. - 190 с. РГБ ОД, 61:04-5/2132.
42. Тарасов, В. Н. Организация интерактивной системы вероятностного моделирования стохастических систем / В. Н. Тарасов, Н. Ф. Бахарева // Известия Самарского научного центра РАН. – 2003. – №1. – С. 119-126.
43. Назаров, А. А. Общий подход к исследованию марковских моделей сетей передачи данных, управляемых статистическими протоколами случайного

- множественного доступа / А. А. Назаров, С. А. Цой // Автоматика и вычислительная техника. – 2004. – №4. – С. 73-85.
44. Авен, О. И. Оценка качества и оптимизация вычислительных систем / О. И. Авен, Н. Н. Гурин, Я. А. Коган. – И.: Наука, 1982. – 464 с.
45. Вахмистров, А. Проектируем сеть с Netwizard / А. Вахмистров // Журнал сетевых решений LAN. – 2001. – №10.
46. Гордеев, Э. Н. Об адекватности моделирования процессов в сетях [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.netdialogue.com/files/articles/1773/electric1.doc>. - 2007
47. Солодянников, Ю. В. Система имитационного моделирования сетей ЭВМ. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.dialog.samara.ru/scien/netsim.php>
48. Kimura, T. Diffusion Approximation for an M/G/m Queue / T. Kimura // Operations Research. – 1983. – № 2. – P. 304-321.
49. Kobayashi, H. Modeling and Analysis: An Introduction to System Performance Evaluation Methodology / H. Kobayashi // Addison Wesley Reading Mass. – 1978.
50. Kang, W. N. Diffusion approximation for an input-queued packet switch operating under a maximum weight algorithm / W. N. Kang, R. J. Williams. – 2007.
51. Kulkarni, L. A. Transient behaviour of queueing systems with correlated traffic / L. A. Kulkarni // Performance Evaluation. – 1996. – P. 117-146.
52. Lee, D-S. Transient analysis of multi-server queues with Markov-modulated Poisson arrivals and overload control / D-S. Lee, S-Q. Li // Performance Evaluation. – 1992. – P. 49-66.
53. Reiser, M. Accuracy of the Diffusion Approximation for Some Queueing Systems / M. Reiser, H. Kobayashi // IBM J. of Res. Develop. – 1974. – P. 110-124.
54. Sharma, S. Approximate models for the Study of Nonstationary Queues and Their Applications to Communication Networks / S. Sharma, D. Tipper // IEEE International Conf. on Communications. – 1993. – P. 352-358.
55. Billingsley, P. Convergence of Probability Measures. Second edition, John Wiley & Sons Inc., New York. – 1999.

56. Bonald, T. Insensitive bandwidth sharing in data networks / T. Bonald, A. Proutiere // Queueing Systems. – 2003. – P. 69-100.
57. Bramson, M. Convergence to equilibria for fluid models of FIFO queueing networks / M. Bramson // Queueing Systems: Theory and Applications. – 1996. – P. 5-45.
58. Bramson, M. State space collapse with application to heavy traffic limits for multiclass queueing networks / M. Bramson // Queueing Systems: Theory and Applications. – 1998. – P. 89-148.
59. De Veciana, G. Stability and performance analysis of networks supporting elastic services / G. de Veciana, T. J. Lee, T. Konstantopoulos // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 2001. – №1. – P. 2-14.
60. Gibbens, R. J. Fixed-point models for the end-to-end performance analysis of IP networks / R. J. Gibbens, S. K. Sargood, C. Van Eijl, F. P. Kelly, H. Azmoodeh, R. N. Macfadyen, N. W. Macfadyen // 13th ITC Specialist Seminar: IP Traffic Measurement, Modeling and Management. Monterey, California. – 2000.
61. Kobayashi, H. Application of the diffusion approximation to queueing networks: Part I Equilibrium queue distributions / H. Kobayashi // ACM SIGMETRICS symposium. – 1973. – P.54-62.
62. Kobayashi, H. Application of the Diffusion Approximation to Queueing Networks II: Nonequilibrium Distributions and Applications to Computer Modeling / H. Kobayashi // Journal of the ACM. – 1974. – №3. – P. 459-469.
63. Chao, X. On truncation properties of finite-buffer queues and queueing networks / X. Chao, M. Miyazawa // Probability in the Engineering and Informational Sciences. – 2000. – №4. – P. 409-423.
64. Chao, X. Markov network processes with product form stationary distributions / X. Chao, M. Miyazawa, R. F. Serfozo, H. Takada // Queueing Systems: Theory and Applications. – 1998. – №4. – P. 377-401.
65. Spirn, J. R. Network modeling with bursty traffic and finite buffer space / J. R. Spirn // ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review. – 1981. – №1. – P. 21-28.

66. Raffo, D. M. Capturing software process and product characteristics in process models using task element decomposition / D. M. Raffo // Conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative research. Toronto, Ontario, Canada. – 1994. P. 59.
67. Choi, B. D. Diffusion approximation for first overflow time in GI/G/m system with finite capacity / B. D. Choi, Y. W. Lee, Y. W. Shin // Journal of Applied Mathematics and Stochastic Analysis. – 1995. – Volume 8. – Issue 1. P. 11-28.
68. Li, G. An analysis of network performance degradation induced by workload fluctuations / G. Li , P. W. Dowd // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1995. – №4. – P. 433-440.
69. Dolcy, S. L. A Fokker-Planck equation method predicting buffer occupancy in a single queue / S. L. Dolcy , C. C. Constantinou , S. F. Quigley // Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking. – 2007. – №8. – P. 2198-2216.
70. Floyd, S. Link-sharing and resource management models for packet networks / S. Floyd, V. Jacobson // ACM Transactions on Networking. – 1995. – №4. – P. 365-386.
71. Whitt, W. A Diffusion Approximation for the G/GI/n/mQueue / W. Whitt // Operations research. – 2004. – Vol. 52. – №6. – P. 922-941.
72. Hall, R. W. Queueing methods for services and manufacturing / R. W. Hall // Prentice Hall. – 1991.
73. Newell, G. F. Applications of Queueing Theory / G. F. Newell // Chapman and Hall. – 1982.
74. Halachmi, B. A diffusion approximation to the multiserver queue / B. Halachmi, W. R. Franta // Management Science. – 1978. – №24. – P. 522-529.
75. Newell, G. F. Approximate Stochastic Behavior of n-Server Service Systems with Large n / G. F. Newell // Springer-Verlag. – 1973.
76. Gaver, D. P. Diffusion approximations and models for certain congestion problems / D. P. Gaver // Journal of Applied Probability. – 1968. – №5. – P.607-623.
77. Окольнішников, В. В. Представление времени в имитационном моделировании / В. В. Окольнішников // Вычислительные технологии. – 2005. – Том 10. – №5. – С. 57-80.

78. Baruah, H. A diffusion approximation to the multiserver queue / H. Baruah, W. R. Franta // Management Science. –1978. – V.24. – №5. – P.522-529.
79. Бакланов, В. Мультисервисные сети: пороховой погреб для системы эксплуатации / В. Бакланов // Connect! Мир Связи. – Март 2004.
80. Коновалов, Е. Как построить корпоративную мультисервисную сеть / Е. Коновалов // CNews. – Июль 2005.
81. Кутузов О. И. Распределенные информационные системы управления: учебное пособие по курсовому проектированию. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dvo.sut.ru/libr/ius/i231kutu/index.htm>
82. Шнепс, М. А. Системы распределения информации. Методы расчета: справочное пособие / М. А. Шнепс. – М.: Связь, 1979. – 342 с.
83. Бахарева, Н. Ф. Моделирование мультисервисной сети Центробанка РФ / Н. Ф. Бахарева, А. Л. Коннов // Инфокоммуникационные технологии. – 2008. – Том 6. – №1. – С. 76-79.
84. Унифицированные форматы электронных банковских сообщений для безналичных расчетов. Обмен с кредитными организациями и другими клиентами Банка России. Описание логической модели. Версия 2.1.1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cbr.ru/analytics/Formats/UFEBBS_Logmodel_v2_1_1.pdf
85. Описания форматов электронных сообщений для подготовки отчетности кредитными организациями. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cbr.ru/analytics/system>
86. Тарасов, В. Н. Анализ и оптимизация локальных сетей и сетей связи с помощью программной системы OPNET MODELER / В. Н. Тарасов, А. Л. Коннов, Ю. А. Ушаков // Вестник ОГУ. – 2006. – №6. – С. 197-204.
87. Пахомов, С. Анализаторы сетевых пакетов / С. Пахомов // Журнал «КомпьютерПресс». – 2006. – №4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.compress.ru/article.aspx?id=16244&iid=743.
88. Кадер, М. Типы сетевых атак, их описания и средства борьбы [Электронный ресурс]: Cnews аналитика. – Режим доступа: http://www.cnews.ru/reviews/free/oldcom/security/cisco_attacks.shtml

89. Тарасов, В. Н. Приближенный расчет сетей массового обслуживания на уровне двух первых моментов распределений интервалов поступления и обслуживания / В. Н. Тарасов, Н. Ф. Бахарева // Управление созданием и развитием систем, сетей и устройств телекоммуникаций. – 2008. – С. 51-60.
90. Коннов, А. Л. Алгоритм и программа генерации трафика источник-адресат / А. Л. Коннов // Сборник научных трудов «Управление созданием и развитием систем, сетей и устройств телекоммуникаций». – СПбГПУ, 2008. – С. 20-28.
91. Тарасов, В. Н. Уравнения равновесия потоков в сетях массового обслуживания на уровне двух первых моментов распределений интервалов поступления и обслуживания / В. Н. Тарасов, Н. Ф. Бахарева, А. Л. Коннов // Сборник научных трудов «Управление созданием и развитием систем, сетей и устройств телекоммуникаций». – СПбГПУ, 2008. – С. 163-172.
92. Коннов, А. Л. Программная система расчета сетевых моделей с неоднородными потоками / А. Л. Коннов // Современные информационные технологии в науке, образовании и практике: материалы VI всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Оренбург, 2007. – С. 241-242.
93. Гургенидзе, А. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа / А. Гургенидзе, В. Кореш. – М.: Наука и Техника, 2003. – 400 с.
94. Cox, D.R. The Theory of Stochastic Processes / D. R. Cox, H. D. Miller // Chapman and Hall. – 1965.
95. Choi, B. D. Transient diffusion approximation for M/G/m system / B. D. Choi, Y. W. Shin // J. Oper. Res. Zooc. Japan. – 1991. – P. 306-328.
96. Choi, B. D. Shin, Y. W., Approximation analysis of time dependent queue size distribution for GI/G/m system using diffusion process / Choi, B. D. Shin, Y. W. // KAIST Mathematics Workshop 6, Analysis and Geometry, Korea. – 1991. – P. 225-242.
97. Duda, A. Transient diffusion approximation for some queueing systems / A. Duda // Performance Evaluation. – 1983. – Rev. 12. – P. 118-128.
98. Duda, A. Diffusion approximation for time-dependent queueing systems / A. Duda // IEEE Journals on Selected Areas in Communications, SAC4:6. – 1986. – P. 905-918.

99. Gelenbe, E., Probabilistic models of computer systems Part II: Diffusion approximations, waiting times and batch arrivals / E. Gelenbe // *Acta Informatica*, 12. – 1979. – P. 285-303.
100. Kimura, T. Diffusion approximation for GI/G/1 queueing systems with finite capacity: The first overflow time / T. Kimura, K. Ohno, H. Mine // *J. Oper. Res. Soc. Japan*, 22:1. – 1979. – P. 41-68.
101. Chang, X. Network simulations with OPNET / X. Chang // *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. – 1999. – P. 307-314.
102. IT Guru Academic Edition [Электронный ресурс]: OPNET Technologies. – 2005. – Режим доступа: http://www.opnet.com/services/university/itguru_academic_edition.html.
103. OPNET IT Tutorial [Электронный ресурс]: OPNET Technologies. – Режим доступа: <http://www.opnet.com/itguru-academic/mk-setup.html>
104. J. Theunis, B. Van den Broeck, P. Leys, J. Potemans¹, E. Van Lil, A. Van de Capelle. OPNET in Advanced Networking Education [Электронный ресурс]: – Режим доступа: http://www.esat.kuleuven.ac.be/telemic/networking/opnetwork02_johan.pdf
105. The World's Leading Network Modeling and Simulation Environment [Электронный ресурс]: OPNET Technologies. – Режим доступа: <http://www.opnet.com/products/modeler/home.html>
106. Тарасов, В. Н. Декомпозиция сетей массового обслуживания без ограничения на длину очереди / В. Н. Тарасов, Н. Ф. Бахарева, А. Л. Коннов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. – 2008. – №2. – С. 31-36.
107. Тарасов, В. Н. Декомпозиция сетей массового обслуживания при избыточных и неоднородных потоках / В. Н. Тарасов, Н. Ф. Бахарева, А. Л. Коннов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. – 2008. – №2. – С. 9-13.
108. Тарасов, В. Н. Аналитико-статистический метод моделирования трафика в узлах сетей ЭВМ и телекоммуникаций / В. Н. Тарасов, А. Л. Коннов // *Материалы 4-ой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. – Оренбург, 2005. – С. 91-95.
109. Тарасов, В. Н. Гибридный метод моделирования трафика в узлах сетей ЭВМ и телекоммуникаций / В. Н. Тарасов, А. Л. Коннов // *Сборник материалов*

Всероссийского конкурса инновационных проектов аспирантов и студентов по приоритетным направлениям развития науки и техники. Информационно-телекоммуникационные системы. – ГОСНИИТ, Москва, 2005. – С. 67-68.

110. Тарасов, В. Н. Исследование процессов функционирования ЛВС на имитационных моделях с целью ее оптимизации / В. Н. Тарасов, Н. Ф. Бахарева, А. Л. Коннов // Перспективные информационные технологии в научных исследованиях, проектировании и обучении // Труды научно-технической конференции с международным участием. – Самара, 2006. – С. 208-215.

111. Бахарева, Н. Ф. Проектирование и моделирование мультисервисной сети кафедры вуза / Н. Ф. Бахарева, А. Л. Коннов // Инфокоммуникационные технологии. – 2008. – Том 6. – №3. – С. 132-138 .

112. Боев, В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. — СПб. : БХВ-Петербург, 2010 г. — 368 с. — Электронное издание. — ISBN 5-94157-515-7

113. Колесов Ю., Сениченков Ю. Моделирование систем. Практикум по компьютерному моделированию. — СПб. : БХВ-Петербург, 2010 г. — 352 с. — Электронное издание. — Гриф УМО. — ISBN 978-5-94157-580-0

114. Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов. Учебное пособие [Электронный ресурс] – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 192 с. – Электронное издание. – ISBN 978-5-8114-1424-6. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/4862/>

115. Колокольцов, В. Н. Математическое моделирование многоагентных систем конкуренции и кооперации (Теория игр для всех). Учебное пособие [Электронный ресурс] - СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 624 с. – Электронное издание. – ISBN 978-5-8114-1276-1. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/3551/>

116. Буренок, В.М. Математические методы и модели в теории информационно-измерительных систем / В.М. Буренок, В.Г. Найденов, В.И. Поляков [Электронный ресурс] – М.: Машиностроение, 2011. – 336 с. – Электронное издание. - ISBN 978-5-94275-601-7. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/3310/>