

Федеральное агентство связи  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)

Кафедра ПДСиМ

Допустить к защите

зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ /О.Г. Мелентьев/

(подпись)

(Ф.И.О.)

# ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Исследование методов обнаружения перегрузок в сетях с коммута-  
цией пакетов

Пояснительная записка

Студент \_\_\_\_\_ / Д.В. Остапенко /

(подпись)

(Ф.И.О.)

Факультет АЭС Группа А-44

Руководитель \_\_\_\_\_ / Ю.С. Лизнева /

(подпись)

(Ф.И.О.)

Консультант:

– по безопасности жизнедеятельности

\_\_\_\_\_ / Н.Н. Симакова /

(подпись)

(Ф.И.О.)

Новосибирск 2018 г.

Ив. № подп.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Подп. и дата

Федеральное агентство связи  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)

## **КАФЕДРА**

Передачи дискретных сообщений и метрологии

## **ЗАДАНИЕ**

# **НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ БАКАЛАВРА**

СТУДЕНТА Д.В. Остапенко ГРУППЫ А-44

«УТВЕРЖДАЮ»

«25» апреля 2018 г.

Зав. кафедрой ПДСиМ

\_\_\_\_\_ / О.Г. Мелентьев /  
(подпись) (Ф.И.О.)

Новосибирск  
2018 г.



Консультанты по проекту (с указанием относящихся к ним разделов):

1. Раздел по безопасности жизнедеятельности

---

---

---

---

---

---

---

---

\_\_\_\_\_ / Н.Н. Симакова /

Дата выдачи задания

Задание принял к исполнению

« 25 » апреля 2018 г.

« 25 » апреля 2018 г.

\_\_\_\_\_ / Ю.С. Лизнева /

\_\_\_\_\_ / Д.В. Остапенко /

(подпись, Ф.И.О. руководителя)

(подпись, Ф.И.О. студента)

## ОТЗЫВ

на выпускную квалификационную работу студента Д.В. Остапенко  
по теме «Исследование методов обнаружения перегрузок в сетях с коммутацией пакетов».

Студент при выполнении выпускной квалификационной работы по основной профессиональной образовательной программе высшего образования – программе бакалавриата по направлению 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (профиль «Сети связи и системы коммутации») продемонстрировал высокий уровень развития общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

Считаю, что работа заслуживает оценки «отлично», а автор присвоения степени бакалавра.

---

---

Работа имеет практическую ценность  
Работа внедрена  
Рекомендую работу к внедрению  
Рекомендую работу к опубликованию  
Работа выполнена с применением ЭВМ

<input type="checkbox"/>

Тема предложена предприятием  
Тема предложена студентом  
Тема является фундаментальной  
Рекомендую студента в магистратуру  
Рекомендую студента в аспирантуру

<input type="checkbox"/>

Руководитель выпускной квалификационной работы бакалавра

---

(должность, уч. степень, подпись, фамилия, имя, отчество (полностью), дата)

С Отзывом ознакомлен \_\_\_\_\_ /Д.В. Остапенко/

«\_\_\_» июня 2018 г.

## Уровень сформированности компетенций у студента

Д.В. Остапенко

Компетенции		Уровень сформированности компетенций		
		высокий	средний	низкий
1		2	3	4
Общекультурные	ОК-3 – способностью использовать основы экономических знаний в различных сферах деятельности	+		
	ОК-5 – способностью к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия	+		
	ОК-6 – способностью работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	+		
	ОК-7 – способностью к самоорганизации и самообразованию	+		
	ОК-9 – готовностью пользоваться основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий	+		
Общепрофессиональные	ОПК-2 – способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением инфокоммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	+		
	ОПК-3 – способностью владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации	+		
	ОПК-4 – способностью иметь навыки самостоятельной работы на компьютере и в компьютерных сетях, осуществлять компьютерное моделирование устройств, систем и процессов с использованием универсальных пакетов прикладных компьютерных программ	+		

1		2	3	4
Общепрофессиональные	ОПК-5 – способностью использовать нормативную и правовую документацию, характерную для области инфокоммуникационных технологий и систем связи (нормативные правовые акты Российской Федерации, технические регламенты, международные и национальные стандарты, рекомендации Международного союза электросвязи)	+		
	ОПК-6 – способностью проводить инструментальные измерения, используемые в области инфокоммуникационных технологий и систем связи	+		
	ОПК-7 – готовностью к контролю соблюдения и обеспечению экологической безопасности	+		
Профессиональные	ПК-17 – способностью применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики	+		
	ПК-18 – способностью организовывать и проводить экспериментальные испытания с целью оценки соответствия требованиям технических регламентов, международных и национальных стандартов и иных нормативных документов	+		
	ПК-19 – готовностью к организации работ по практическому использованию и внедрению результатов исследований	+		

## АННОТАЦИЯ

Выпускной квалификационной работы студента Д.В. Остапенко  
по теме Исследование методов обнаружения перегрузок в сетях с коммутацией пакетов

Объем работы – 53 страницы, на которых размещены 25 рисунков и 4 таблицы. При написании работы использовалось 14 источников.

Ключевые слова: коммутация пакетов, трафик, причины перегрузок

Работа выполнена: на кафедре АЭС

Руководитель: доцент каф. АЭС Лизнева Юлия Сергеевна

Целью работы являлось: исследование методов обнаружения перегрузок в сетях с коммутацией пакетов.

Решаемые задачи: Рассмотреть теоретические положения, касающиеся систем массового обслуживания; с позиции теории очередей сравнить результаты расчета характеристик для простейшего потока поступающих пакетов системы массового обслуживания.

Основные результаты: С позиции теории очередей было проведено сравнение результатов расчета характеристик для простейшего потока поступающих пакетов системы массового обслуживания; в результате сравнительного анализа расчетов полученных по формуле Поллачека – Хинчина с результатами имитационного моделирования было установлено, что погрешность моделирования не превышает 5%.

## Graduation thesis abstract

Of D.V. Ostapenko on the theme research of methods of detection of overloads in networks with packet switching

The paper consists of 53 pages, with 25 figures and 4 tables/charts/diagrams. While writing the thesis 14 reference sources were used.

Keywords: packet switching, traffic, the causes of overload

The thesis was written at the Department of automatic telecommunication

(name of organization or department)

Scientific supervisor Associate Professor, Department ATS Lezneva Yuliya Sergeevna

(position, degree, last name, name)

The goal/subject of the paper is: Research of methods of detection of overloads in networks with packet switching.

Tasks: To consider the theoretical positions concerning Queuing systems; from the position of queue theory to compare the results of calculation of characteristics for the simplest flow of incoming packets Queuing system.

Results: From the position of the queue theory, the comparison of the results of calculating the characteristics for the simplest flow of incoming packets of Queuing system was carried out; as a result of a comparative analysis of the calculations obtained by the Pollachek – Khinchin formula with the results of simulation, it was found that the simulation error does not exceed 5%.





Целью выпускной квалификационной работы является исследование методов обнаружения перегрузок в сетях с коммутацией пакетов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– рассмотреть теоретические положения, касающиеся систем массового обслуживания. Требуемым результатом решения данной задачи является сравнительный анализ расчетов полученных по формуле Поллачека – Хинчина с результатами имитационного моделирования;

– с позиции теории очередей сравнить результаты расчета характеристик для простейшего потока поступающих пакетов системы массового обслуживания типа M/M/1/N в случае коммутации дейтаграмм IP и системы M/D/1/N в случае коммутации ячеек АТМ.

Инв. № подл.	Подпись и дата				Инв. № дубл.	Подпись и дата		
	Взам. инв. №							
Инв. № подл.		Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФАЭС.11.03.02.044			Лист
								4

# 1 Мониторинг перегрузок в сетях с коммутацией пакетов

## 1.1 Понятие перегрузок

Когда количество пакетов, передаваемых одновременно по подсети (или ее части), превышает некий пороговый уровень, производительность сети начинает снижаться. Такая ситуация называется перегрузкой. То есть перегрузка в вычислительных сетях - это временное исчерпание ресурсов оборудования или пропускной способности каналов связи, в результате чего происходят сбои в работе сетевых сервисов или коллапс сети (сеть перестает выполнять свои функции по передаче полезной информации между узлами). Когда число пакетов, посылаемых хостами в сеть, не превышает ее пропускной способности, то все они доставляются адресатам (кроме небольшого процента поврежденных ошибками передачи) [1]. При этом количество доставленных пакетов пропорционально количеству посланных. Однако по мере роста трафика маршрутизаторы перестают успевать обрабатывать все пакеты и начинают их терять. При дальнейшем увеличении числа отправляемых пакетов ситуация продолжает ухудшаться. Когда число пакетов достигает максимального уровня, производительность сети начинает снижаться. При очень высоком уровне трафика производительность сети падает до совсем низкого уровня и практически никакие пакеты не доставляются [2].

Ситуация, когда нагрузка в течение некоторого оговоренного времени превышает заданную величину, называется перегрузкой.

О наличии перегрузки можно судить по следующим параметрам:

- процент пакетов, отбрасываемых из-за отсутствия свободного буферного пространства;
- средняя длина очереди;
- процент пакетов, пересылаемых повторно;
- среднее время задержки пакета.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФАЭС.11.03.02.044

Лист

5

После выявления перегрузки нужно передать информацию из точки где она обнаружена, туда где можно предотвратить эту ситуацию.

Причины перегрузки сети могут быть следующие:

- недостаточная пропускная способность каналов связи;
- различного рода флуды;
- «взрывная» структура трафика;
- недостаточный объем буферов в сетевом оборудовании;
- злонамеренные атаки;
- выход из строя оборудования.

Последствия перегрузок - отказ в обслуживании, нарушение безопасности, снижение качества обслуживания.

Перегрузки приводят к проблемам продвижения трафика по сетям. Рассмотрим более детально понятие трафика.

Трафик - это объем данных, проходящий через хост, участвующий в сетевом обмене, за определенный период времени. Различают входящий трафик (данные, которые принимаются хостом от других узлов) и исходящий трафик (данные, которые генерирует хост и отправляет другим узлам в сети) [4].

К основным характеристикам трафика можно отнести:

- значения трафика (мгновенное, максимальное, пиковое, среднее, минимальное), бит/с;
- коэффициент пульсации трафика;
- средняя длительность пикового трафика;
- средняя длительность сеанса связи;
- максимальный, средний, минимальный размеры пакетов;
- интенсивность запросов;
- длительность межпакетных задержек (максимальная, средняя, минимальная).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 1.2 Методы борьбы с перегрузками

Решения проблемы перегрузок делятся на две группы: без обратной связи и с обратной связью. Решение без обратной связи заключается в попытке решить проблему с помощью улучшения самой системы с целью предотвращения возникновения самой ситуации перегрузки. Никаких корректирующих действий во время работы системы не предпринимается.

К методам управления без обратной связи относятся решения о том, когда разрешать новый трафик, когда отвергать пакеты и какие именно, а также составление расписаний для различных участков сети. Главный недостаток в том, что они не учитывают текущего состояния сети [3].

Решения с обратной связью, напротив, основываются на учете текущего состояния системы. Этот подход состоит из трех следующих частей:

1. Мониторинг сети с целью определить, где и когда произойдет перегрузка (прогнозирование).

2. Передачи информации о перегрузке в те места, где могут быть приняты соответствующие действия.

3. Принятие необходимых мер при работе системы для устранения перегрузки.

При мониторинге могут измеряться следующие параметры:

1. Процент пакетов, отвергаемых из-за отсутствия места в буфере.

2. Средняя длина очереди.

3. Среднее время задержек пакетов.

4. Среднеквадратичное отклонение задержки пакетов.

Во всех случаях увеличивающиеся значения параметров являются сигналами о растущей перегрузке.

Первые два пункта требуют непосредственный доступ к исследуемым коммутаторам. Данные такого рода сложно получать. Время задержек пакетов легко получать общедоступными средствами (утилиты на основе ping), а данные в четвертом пункте - это обработанные данные третьего. Соответ-

Инь. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инь. № дубл.	Подпись и дата
--------------	----------------	--------------	--------------	----------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФАЭС.11.03.02.044

Лист

7

ственно время задержек пакетов является самым доступным способом определения перегрузки.

Принятие мер для предотвращения перегрузки. Есть два решения данной проблемы: увеличить ресурсы системы или снизить нагрузку.

Часто увеличить пропускную способность бывает невозможно либо она уже увеличена до предела. В таком случае остается второй вариант [3].

Когда сервер не в состоянии обработать вызов, он может послать сообщение сообщающего нижестоящему элементу о необходимости подождать указанное время.

Недостатки метода:

- Увеличение нагрузки: в случае перегрузки множества компонентов в сети, данный метод может привести к еще большей перегрузке. Метод может быть приемлемым в случае перегрузки одного единственного сетевого элемента, но в случае перегрузки множества элементов этот метод приводит к значительному увеличению количества передаваемых сообщений и, соответственно, к еще большей нагрузке на серверы.

- Неиспользование ресурсов: в большинстве случаев получение сообщения о перегрузке означает, что в состоянии перегрузки находится весь сервер, определяемый доменным именем. Хотя в действительности за одним доменным именем может находиться несколько серверов, и только один из них может быть перегружен.

- Проблема неустойчивости трафика: использование таймера приостановки трафика в заголовке приводит к резкому всплеску трафика по истечении данного таймера, что потенциально может привести к очередной перегрузке сервера [4].

Также для обнаружения перегрузок используется метод «медленный старт и дополнительное увеличение». Данный метод – это комбинация двух стратегий: медленного старта и дополнительного увеличения.

Инь. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инь. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

В начале соединения ТСР устанавливает размер окна перегрузки на максимальный размер сегмента. Для каждого сегмента, который подтвержден, ТСР увеличивает размер окна перегрузки по одному максимальному размеру сегмента, пока он не достигнет порога половины разрешенного размера окна. Это называется медленным стартом, который полностью обманчив, потому что этот процесс не такой медленный. Размер окна перегрузки увеличивается экспоненциально. Передатчик посылает один сегмент, получает одно подтверждение, увеличивает размер до двух сегментов, посылает два сегмента, получает два сегмента, увеличивает размер до четырех сегментов, посылает четыре сегмента, получает подтверждение для четырех сегментов, увеличивает размер до восьми сегментов и так далее. Другими словами, после получения третьего подтверждения размер окна увеличивается до восьми сегментов. Скорость роста окна – экспоненциальная  $2^3 = 8$ .

Чтобы избежать перегрузки, прежде чем она возникнет, нужно замедлить этот экспоненциальный рост. После того как размер достигает порога, размер окна увеличивается на единицу для каждого подтверждения, даже если подтверждаются последовательные сегменты. Стратегия дополнительного увеличения продолжается, пока подтверждения прибывают прежде срабатывания их соответствующих тайм-аутов или пока размер окна перегрузки не достигнет значения окна приемника [4].

Инва. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФАЭС.11.03.02.044

Лист

9

## 2 Имитационное моделирование для исследования систем массового обслуживания

### 2.1 Программная система MathCad

MathCad является интегрированной системой программирования, ориентированной на проведение математических и инженерно-технических расчетов. Система MathCad содержит текстовый редактор, вычислитель и графический процессор. Документ программы MathCad называется рабочим листом. Он содержит объекты – формулы и текстовые блоки. В ходе расчетов формулы обрабатываются последовательно, слева направо и сверху вниз, а текстовые блоки игнорируются [9].

После вызова MathCad экран приобретает вид, представленный на рисунке 2.1.

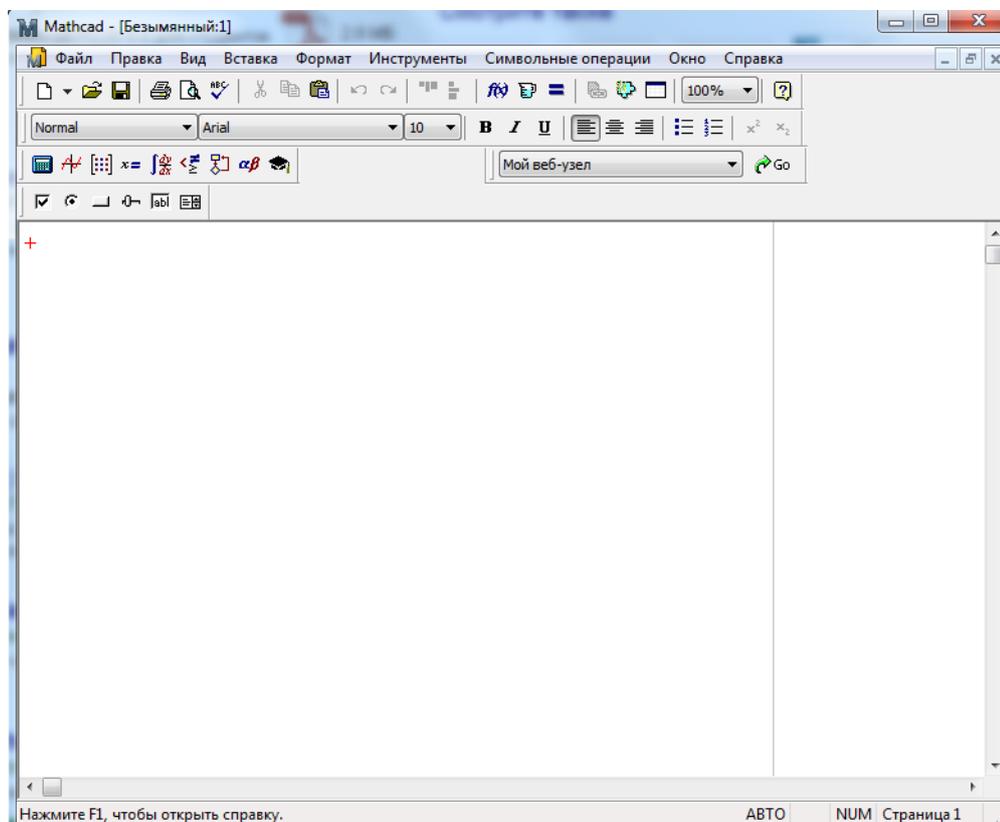


Рисунок 2.1 – Рабочее окно MathCad

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата





- палитра греческих букв.



- палитра клавиш символьной математики.

### Принцип программирования в MathCad

Основными инструментами работы в MathCad являются математические выражения, переменные и функции. Нередко записать формулу, использующую ту или иную внутреннюю логику (например, возвращение различных значений в зависимости от условий), в одну строку не удастся. Назначение программных модулей как раз и заключается в определении выражений, переменных и функций в несколько строк, часто с применением специфических программных операторов [10].

Традиционное программирование, упрощенный вариант которого применен в MathCad и осуществляется при помощи панели инструментов "Программирование" показанной на рисунке 2.2, имеет ряд существенных преимуществ, которые в ряде случаев делают документ более простым и читаемым:

- возможность применения циклов и условных операторов;
- простота создания функций и переменных, требующих нескольких простых шагов;
- возможность создания функций, содержащих закрытый для остального документа код, включая преимущества использования локальных переменных и обработку исключительных ситуаций.

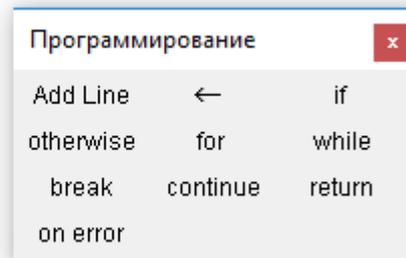
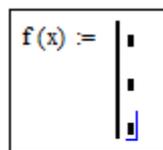


Рисунок 2.2 – Пример программных модулей

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	ФАЭС.11.03.02.044				Лист
									12
					Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Как видно из рисунка 2.2, программный модуль обозначается в MathCad вертикальной чертой, справа от которой последовательно записываются операторы языка программирования.

Набор программных элементов для создания программных модулей весьма ограничен и содержит следующие элементы:

- Add Line – создает и при необходимости расширяет жирную вертикальную линию, справа от которой в шаблонах задается запись программного блока;
- ← – символ локального присваивания (в теле модуля);
- if – оператор условного выражения;
- for – оператор задания цикла с фиксированным числом повторений;
- while – оператор задания цикла типа «пока» (цикл выполняется, пока выполняется некоторое условие);
- otherwise – оператор иного выбора (обычно применяется с if);
- break – оператор прерывания;
- continue – оператор продолжения;
- return – оператор-функция возврата;
- on error – оператор обработки ошибок.

Инва. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 2.2 Система массового обслуживания

Системы массового обслуживания – это такие системы, в которые в случайные моменты времени поступают заявки на обслуживание, при этом поступившие заявки обслуживаются с помощью имеющихся в распоряжении системы каналов обслуживания.

С позиции моделирования процесса массового обслуживания ситуации, когда образуются очереди заявок (требований) на обслуживание, возникают следующим образом. Поступив в обслуживающую систему, требование присоединяется к очереди других (ранее поступивших) требований. Канал обслуживания выбирает требование из находящихся в очереди, с тем, чтобы приступить к его обслуживанию. После завершения процедуры обслуживания очередного требования канал обслуживания приступает к обслуживанию следующего требования, если такое имеется в блоке ожидания. Цикл функционирования СМО подобного рода повторяется многократно в течение всего периода работы обслуживающей системы [12].

Для обозначения различных систем обслуживания принята символика Кендалла:  $A|B|m|n$ , которую можно расшифровать следующим образом:

- первый символ обозначает функцию распределения промежутков между вызовами, т.е. поток вызовов;
- второй символ обозначает функцию распределения длительности обслуживания вызовов;
- третий символ – количество обслуживающих приборов в системе;
- четвертый символ показывает число мест в системе для ожидания.

Символы А и В принимают значения из множества распределения вероятностей:

М – показательное (экспоненциальное) распределение;

Д – детерминированное (постоянное) распределение при котором поток характеризуется постоянными интервалами между вызовами;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

G – произвольное распределение, последовательные интервалы не зависимы.

### 2.3 Система M/M/1

На рисунке 2.3 приведено моделирование системы M/M/1.

```

N := 1000  λ := 0.1  μ := 0.9  ORIGIN := 1
F(N) :=
  K1,1 ← 1
  K1,2 ←  $\frac{-\ln(\text{md}(1))}{\lambda}$ 
  K1,3 ←  $\frac{-\ln(\text{md}(1))}{\mu}$ 
  K1,4 ← 0 + K1,2
  K1,5 ← K1,4 + K1,2
  K1,6 ← 0
  K1,7 ← K1,4 - K1,2
  K1,8 ← K1,5 - K1,2
  for i ∈ 2,3..N
    Ki,1 ← i
    Ki,2 ← Ki-1,2 +  $\frac{-\ln(\text{md}(1))}{\lambda}$ 
    Ki,3 ←  $\frac{-\ln(\text{md}(1))}{\mu}$ 
    Ki,4 ← Ki-1,5 if Ki,2 < Ki-1,5
    Ki,4 ← Ki,2 otherwise
    Ki,5 ← Ki,4 + Ki,3
    Ki,7 ← Ki,4 - Ki,2
    Ki,8 ← Ki,5 - Ki,2
    m ← 0
    for j ∈ 1,2..i-1
      m ← m + 1 if Kj,5 < Ki,2
    Ki,6 ← i - m - 1
  K
  
```

Рисунок 2.3 – Моделирование системы M/M/1 в MathCad

Система M/M/1 имеет показательное распределение, входные потоки задаются количеством поступающих заявок в единицу времени ( $\lambda$ ). В данном

Инь. № подл.	Взам. инв. №	Инь. № дубл.	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

модуле используется таблица (К), строки которой соответствуют обслуживаемым заявкам (n строк – n заявок), а столбцы распределены следующим образом (нумерация начинается с 1, что задано свойством ORIGIN=1):

- 1 – номер клиента (заявки)
- 2 – время поступления
- 3 – время обслуживания
- 4 – время начала обслуживания
- 5 – время окончания обслуживания
- 6 – длина очереди
- 7 – время пребывания в очереди
- 8 – время пребывания в системе

Задав количество заявок (N=1000) получаем следующие результаты приведенные на рисунке 2.4:

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3.147	0.232	3.147	6.293	0	0	3.147
2	2	23.865	0.085	23.865	23.95	0	0	0.085
3	3	25.935	1.426	25.935	27.361	0	0	1.426
4	4	28.193	0.823	28.193	29.017	0	0	0.823
5	5	34.011	0.723	34.011	34.734	0	0	0.723
6	6	46.054	1.231	46.054	47.285	0	0	1.231
7	7	82.309	0.433	82.309	82.742	0	0	0.433
8	8	97.164	0.639	97.164	97.803	0	0	0.639
9	9	105.538	0.675	105.538	106.212	0	0	0.675
10	10	113.381	3.079	113.381	116.46	0	0	3.079
11	11	119.14	1.382	119.14	120.522	0	0	1.382
12	12	128.909	0.695	128.909	129.605	0	0	0.695
13	13	131.109	0.32	131.109	131.428	0	0	0.32
14	14	134.28	2.258	134.28	136.537	0	0	...

Определим среднее время ожидания обслуживания заявки случайной величины:

$$W_q = \frac{\sum F(N)^{(7)}}{N}$$

$$W_q = 0.198$$

Рисунок 2.4 – Распределение времени поступления и обслуживания заявки по экспоненциальному закону

Подпись и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подпись и дата
Инв. № подл.

Рассчитаем среднее время ожидания обслуживания заявки для системы М/М/1. Для этого воспользуемся формулой Поллачека-Хинчина:

$$\bar{y} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{y^2}{(1-y)} \quad (2.1)$$

Результаты рассчитанного и имитационного моделирования сведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчетов для системы М/М/1:

y	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
W <sub>м</sub>	0,198	0,355	0,556	1,18	1,993	2,417	3,676	4,643	6,248
W <sub>р</sub>	0,11	0,5	0,643	0,889	1,25	3	2,72	6,4	10,25

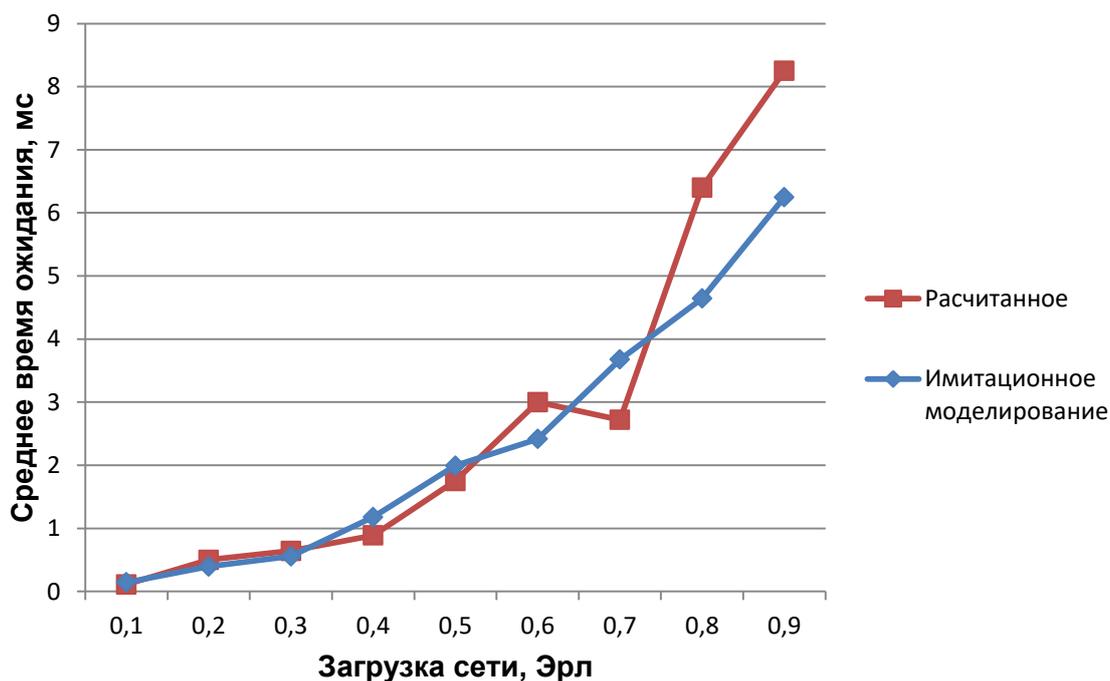


Рисунок 2.5 – Среднее время ожидания обслуживания для модели М/М/1 и по результатам имитационного моделирования

Сравнивая результаты расчета с результатами моделирования с использованием статистических данных можно сделать следующие выводы:

Подпись и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подпись и дата
Инв. № подл.

– результаты расчета времени ожидания в очереди подтверждаются результатами имитационного моделирования;

– графики зависимости задержки от загрузки, построенные по результатам расчета и моделирования практически совпадают, различие наблюдается только с  $\rho = 0,6$  Эрл, то есть при перегрузке.

## 2.4 Система M/D/1

На рисунке 2.6 приведено моделирование системы M/D/1.

```

N := 1000  λ := 0.1  D := 1.5  ORIGIN := 1

F(N) :=
  K1,1 ← 1
  K1,2 ←  $\frac{-\ln(\text{md}(1))}{\lambda}$ 
  K1,3 ← D
  K1,4 ← 0 + K1,2
  K1,5 ← K1,4 + K1,2
  K1,6 ← 0
  K1,7 ← K1,4 - K1,2
  K1,8 ← K1,5 - K1,2
  for i ∈ 2,3..N
    Ki,1 ← i
    Ki,2 ← Ki-1,2 +  $\frac{-\ln(\text{md}(1))}{\lambda}$ 
    Ki,3 ← D
    Ki,4 ← Ki-1,5 if Ki,2 < Ki-1,5
    Ki,4 ← Ki,2 otherwise
    Ki,5 ← Ki,4 + Ki,3
    Ki,7 ← Ki,4 - Ki,2
    Ki,8 ← Ki,5 - Ki,2
    m ← 0
    for j ∈ 1,2..i-1
      m ← m + 1 if Kj,5 < Ki,2
    Ki,6 ← i - m - 1
  K
  
```

Рисунок 2.6 – Моделирование системы M/D/1 в MathCad

Инва. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Система M/D/1 имеет постоянное распределение, входные потоки задаются количеством поступающих заявок в единицу времени ( $\lambda$ ). В данном модуле таблица (K), строки которой соответствуют обслуживаемым заявкам (n строк – n заявок), а столбцы распределены следующим образом (нумерация начинается с 1, что задано свойством ORIGIN=1):

- 1 – номер клиента (заявки)
- 2 – время поступления
- 3 – время обслуживания
- 4 – время начала обслуживания
- 5 – время окончания обслуживания
- 6 – длина очереди
- 7 – время пребывания в очереди
- 8 – время пребывания в системе

Задав количество заявок (N=1000) получаем следующие результаты приведенные на рисунке 2.7:

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1.206	1	1.206	2.412	0	0	1.206
2	2	13.613	1	13.613	14.613	0	0	1
3	3	26.554	1	26.554	27.554	0	0	1
4	4	27.643	1	27.643	28.643	0	0	1
5	5	27.696	1	28.643	29.643	1	0.947	1.947
6	6	36.659	1	36.659	37.659	0	0	1
7	7	40.862	1	40.862	41.862	0	0	1
8	8	53.159	1	53.159	54.159	0	0	1
9	9	62.642	1	62.642	63.642	0	0	1
10	10	64.616	1	64.616	65.616	0	0	1
11	11	66.897	1	66.897	67.897	0	0	1
12	12	132.601	1	132.601	133.601	0	0	1
13	13	137.101	1	137.101	138.101	0	0	1
14	14	139.478	1	139.478	140.478	0	0	1
15	15	139.961	1	140.478	141.478	1	0.518	...

Определим среднее время ожидания обслуживания заявки случайной величины:

$$W_q = \frac{\sum F(N)^{(7)}}{N}$$

$$W_q = 0.057$$

Рисунок 2.7 – Распределение времени поступления и обслуживания заявки по детерминированному закону

Подпись и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подпись и дата
Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<b>ФАЭС.11.03.02.044</b>	Лист
						19

Рассчитаем среднее время ожидания обслуживания заявки для системы M/D/1. Для этого воспользуемся формулой Поллачека-Хинчина:

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{y^2}{2(1-y)} \quad (2.2)$$

Результаты рассчитанного и имитационного моделирования сведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчетов для системы M/D/1:

y	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
W <sub>м</sub>	0,057	0,198	0,314	0,401	0,51	0,709	1,286	1,95	4,233
W <sub>р</sub>	0,056	0,125	0,214	0,333	0,5	0,75	1,167	2	4,5

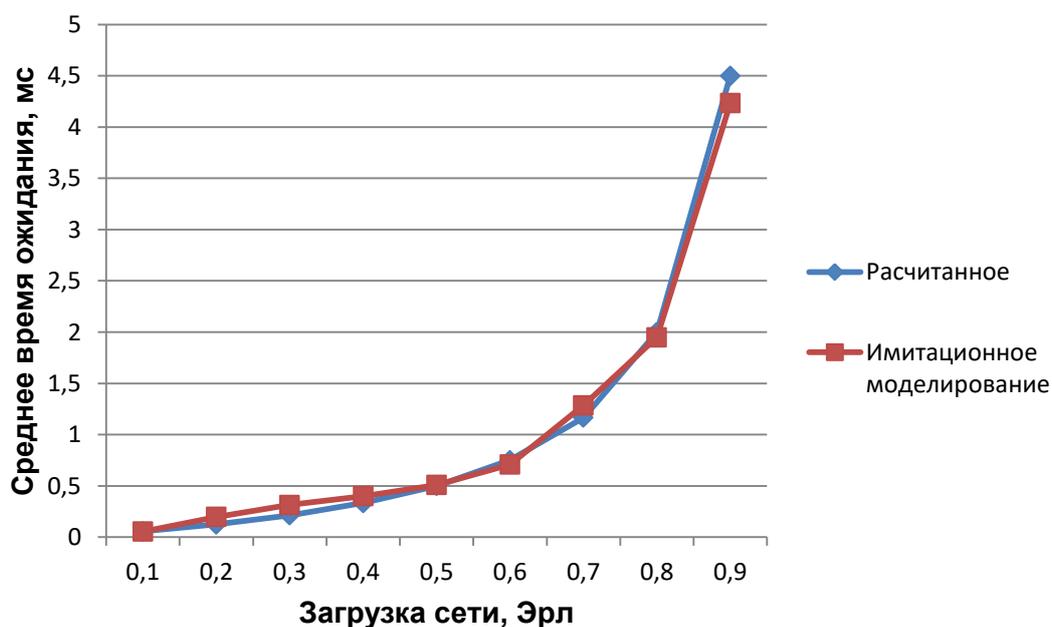


Рисунок 2.8 – Среднее время ожидания обслуживания для модели M/D/1 и по результатам имитационного моделирования

Сравнивая результаты расчета с результатами моделирования с использованием статистических данных можно сделать следующие выводы:

Подпись и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подпись и дата
Инв. № подл.

– результаты расчета времени ожидания в очереди подтверждаются результатами имитационного моделирования;

– графики зависимости задержки от загрузки, построенные по результатам расчета и моделирования практически совпадают, погрешность не превышает 5 %.

## 2.5 Система M/G/1

На рисунке 2.9 приведено моделирование системы M/G/1.

```

N := 1000  λ := 0.1  k := 0.5  α := 1.1  ORIGIN := 1
F(N) :=
  K1,1 ← 1
  K1,2 ←  $\frac{-\ln(\text{md}(1))}{\lambda}$ 
  K1,3 ←  $\frac{k}{\left(1 - \text{md}(1)^{\frac{1}{\alpha}}\right)}$ 
  K1,4 ← 0 + K1,2
  K1,5 ← K1,4 + K1,2
  K1,6 ← 0
  K1,7 ← K1,4 - K1,2
  K1,8 ← K1,5 - K1,2
  for i ∈ 2,3..N
    Ki,1 ← i
    Ki,2 ← Ki-1,2 +  $\frac{-\ln(\text{md}(1))}{\lambda}$ 
    Ki,3 ←  $\frac{k}{\left(1 - \text{md}(1)^{\frac{1}{\alpha}}\right)}$ 
    Ki,4 ← Ki-1,5 if Ki,2 < Ki-1,5
    Ki,4 ← Ki,2 otherwise
    Ki,5 ← Ki,4 + Ki,3
    Ki,7 ← Ki,4 - Ki,2
    Ki,8 ← Ki,5 - Ki,2
    m ← 0
    for j ∈ 1,2..i-1
      m ← m + 1 if Kj,5 < Ki,2
    Ki,6 ← i - m - 1
  K
  
```

Рисунок 2.9 – моделирование системы M/G/1 в MathCad

Инва. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Подпись и дата
Инва. № дубл.	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Система M/G/1 имеет произвольное распределение, входные потоки задаются количеством поступающих заявок в единицу времени ( $\lambda$ ). В данном модуле используется распределение Парето, где задаем коэффициент масштаба (k) и параметр формы ( $\alpha$ ). Таблица (K), строки которой соответствуют обслуживаемым заявкам (n строк – n заявок), а столбцы распределены следующим образом ( нумерация начинается с 1, что задано свойством ORIGIN=1):

- 1 – номер клиента (заявки)
- 2 – время поступления
- 3 – время обслуживания
- 4 – время начала обслуживания
- 5 – время окончания обслуживания
- 6 – длина очереди
- 7 – время пребывания в очереди
- 8 – время пребывания в системе

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	87.407	1.078	87.407	174.814	0	0	87.407
2	2	119.265	0.514	174.814	175.328	1	55.549	56.063
3	3	172.512	0.532	175.328	175.86	2	2.815	3.347
4	4	203.788	0.84	203.788	204.627	0	0	0.84
5	5	223.148	0.733	223.148	223.881	0	0	0.733
6	6	327.312	4.91	327.312	332.222	0	0	4.91
7	7	378.845	0.532	378.845	379.378	0	0	0.532
8	8	459.141	0.509	459.141	459.65	0	0	0.509
9	9	560.601	0.732	560.601	561.333	0	0	0.732
10	10	704.872	1.738	704.872	706.61	0	0	1.738
11	11	780.11	0.707	780.11	780.817	0	0	0.707
12	12	1.159·10 <sup>3</sup>	5.084	1.159·10 <sup>3</sup>	1.164·10 <sup>3</sup>	0	0	5.084
13	13	1.193·10 <sup>3</sup>	0.843	1.193·10 <sup>3</sup>	1.194·10 <sup>3</sup>	0	0	0.843
14	14	1.254·10 <sup>3</sup>	2.113	1.254·10 <sup>3</sup>	1.256·10 <sup>3</sup>	0	0	2.113
15	15	1.336·10 <sup>3</sup>	1.322	1.336·10 <sup>3</sup>	1.337·10 <sup>3</sup>	0	0	1.322
16	16	1.341·10 <sup>3</sup>	0.713	1.341·10 <sup>3</sup>	1.342·10 <sup>3</sup>	0	0	...

Определим среднее время ожидания обслуживания заявки случайной величины:

$$w_q = \frac{\sum F(N)^{(>)}}{N}$$

$w_q = 2.017$

Рисунок 2.10 – Распределение времени поступления и обслуживания заявки по детерминированному закону

Подпись и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подпись и дата
Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Рассчитаем среднее время ожидания обслуживания заявки для системы M/G/1. Для этого воспользуемся формулой Поллачека-Хинчина:

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{y^2}{2(1-y)} \cdot \left( 1 + \left( \frac{\sigma}{t} \right)^2 \right) \quad (2.3)$$

Результаты рассчитанного и имитационного моделирования сведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты расчетов для системы M/G/1:

y	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
W <sub>м</sub>	2,462	11,039	13,211	17,365	25,87	69,01	58,98	140,68	235,56
W <sub>р</sub>	2,716	12,22	15,711	21,724	30,55	73,32	66,53	156,42	247,45

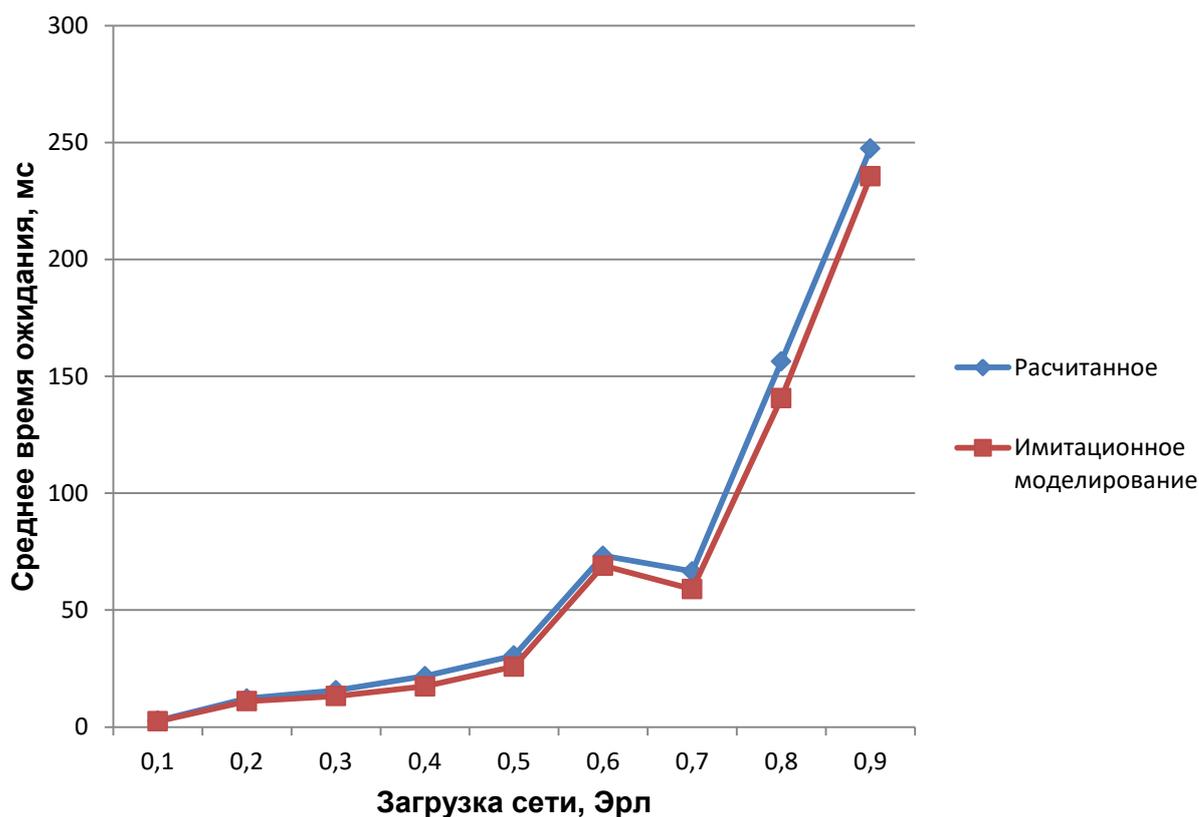


Рисунок 2.11 – Среднее время ожидания обслуживания для модели M/G/1 и по результатам имитационного моделирования

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Сравнивая результаты расчета с результатами моделирования с использованием статистических данных можно сделать следующие выводы:

- результаты расчета времени ожидания в очереди подтверждаются результатами имитационного моделирования;
- графики зависимости задержки от загрузки, построенные по результатам расчета и моделирования практически совпадают, погрешность не превышает 5 %.

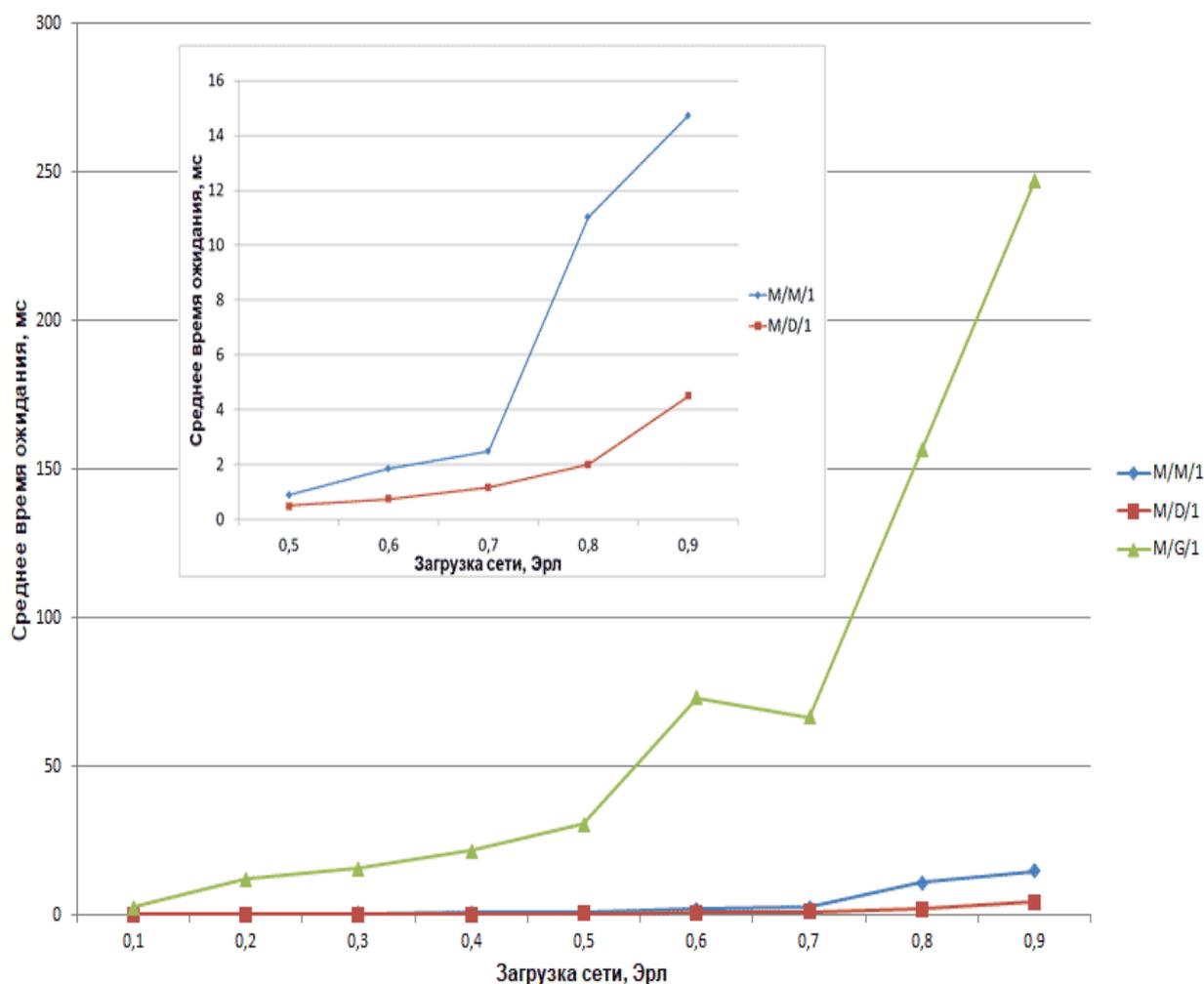


Рисунок 2.12 – Рассчитанное среднее время ожидания обслуживания для систем M/M/1, M/D/1, M/G/1

Инь. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инь. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

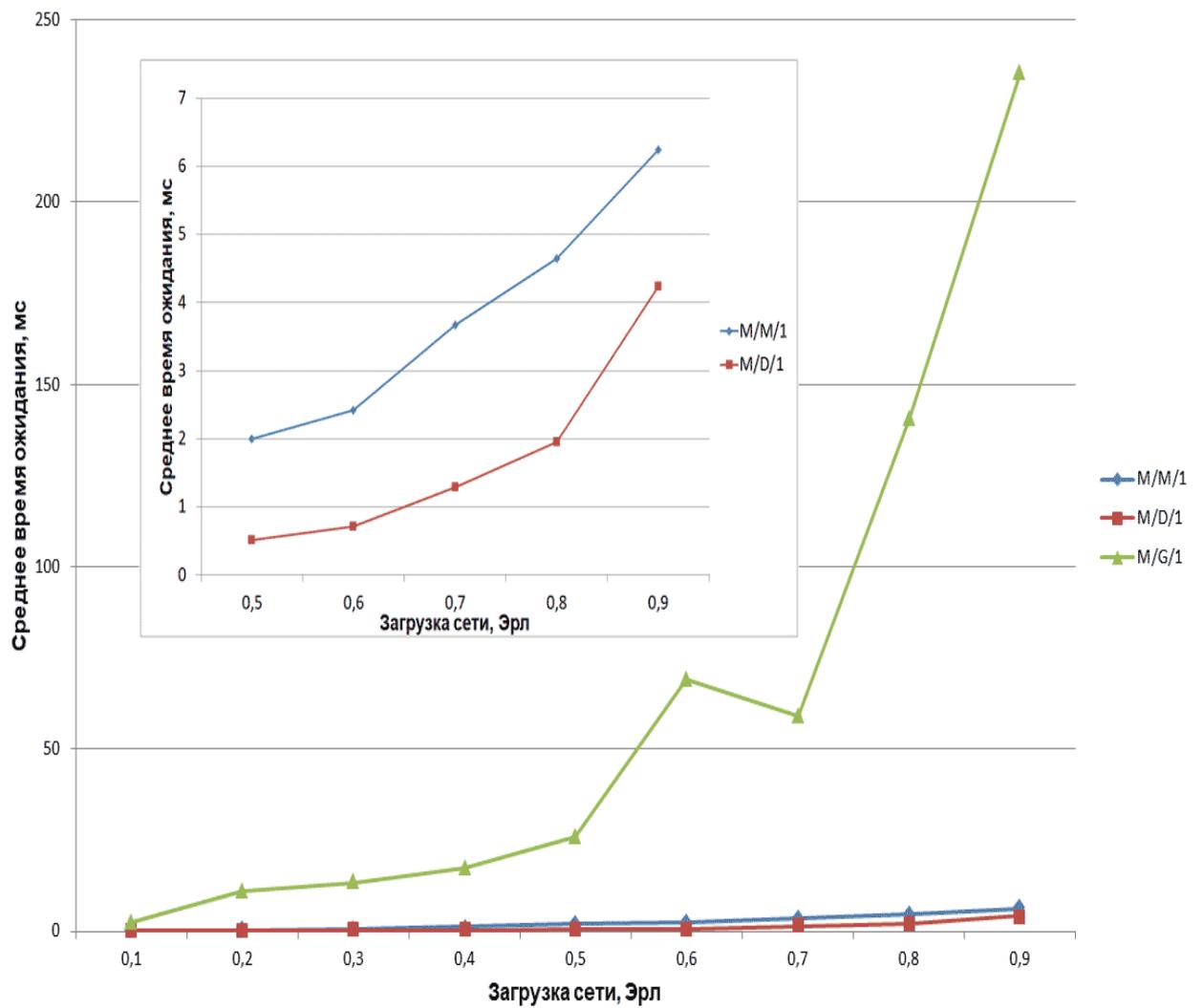


Рисунок 2.13 – Имитационное моделирование среднего время ожидания обслуживания для систем M/M/1, M/D/1, M/G/1

Как видно на графиках рисунка 2.12, 2.13 среднее время ожидания обслуживания заявки для модели СМО M/G/1 намного больше, чем для моделей M/M/1 и M/D/1. Система M/G/1 зависит от коэффициента вариации, так как дисперсия большая, то происходит резкий рост времени.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	ФАЭС.11.03.02.044					Лист
										25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3.2)$$

Пакеты, достигающие узла 2, могут быть заблокированы и там с же вероятностью  $P_{\text{блок}}$ . Это равносильно тому, что эффективная интенсивность обслуживания пакетов каналом уменьшается до величины  $\mu' = \mu(1 - P_{\text{блок}})$ , а интенсивность нагрузки на входе узла 2 будет равна:

$$\rho' = \frac{\lambda}{\mu'} = \frac{\rho}{1 - P_{\text{блок}}} \quad (3.3)$$

Как следует из теории очередей [5,6], вероятность блокировки  $P_{\text{блок}}$  является функцией интенсивности нагрузки  $\mu'$ , что приводит к нелинейному уравнению, с помощью которого можно найти методом итераций  $P_{\text{блок}}$  и  $\rho'$ , а также среднюю длину очереди  $N$ , среднее время задержки пакетов в ней  $T$  и нормированную производительность (интенсивность обслуженной нагрузки):

$$\frac{\gamma}{\mu'} = \rho'(1 - P_{\text{блок}}) \quad (3.4)$$

Далее рассмотрим эти характеристики для системы типа М/М/1/Н в случае коммутации дейтаграмм IP и системы М/D/1/Н – в случае коммутации ячеек АТМ.

Оба случая являются примеров сетей с коммутацией пакетов.

Коммутация ячеек в АТМ является более простым и более однородным процессом по сравнению с традиционной маршрутизацией, используемой в сетях IP. Поскольку ячейки АТМ всегда имеют одну и ту же длину, значительно меньшую длины кадра IP, они требуют меньшей буферизации. Кроме того, они предсказуемы, поскольку их заголовки всегда находятся на одном и том же месте.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	ФАЭС.11.03.02.044	Лист
						27
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		





Результат решения формулы (3.5) методом итераций в программном пакете MathCad для объемов буферной памяти  $N = 5, 10, 15$  представлены на рисунке 3.2 в виде зависимости вероятности блокировки  $P_{\text{блок}}$  от интенсивности нагрузки  $\rho'$ .

$$\rho' := 0, 0.1.. 0.9$$

$$N_1 := 5 \quad N_2 := 10 \quad N_3 := 15$$

+

$$P5(\rho') := \frac{\rho'^N (1 - \rho')}{1 - \rho'^{N+1}}$$

$$P10(\rho') := \frac{\rho'^{N2} (1 - \rho')}{1 - \rho'^{N2+1}}$$

$$P15(\rho') := \frac{\rho'^{N3} (1 - \rho')}{1 - \rho'^{N3+1}}$$

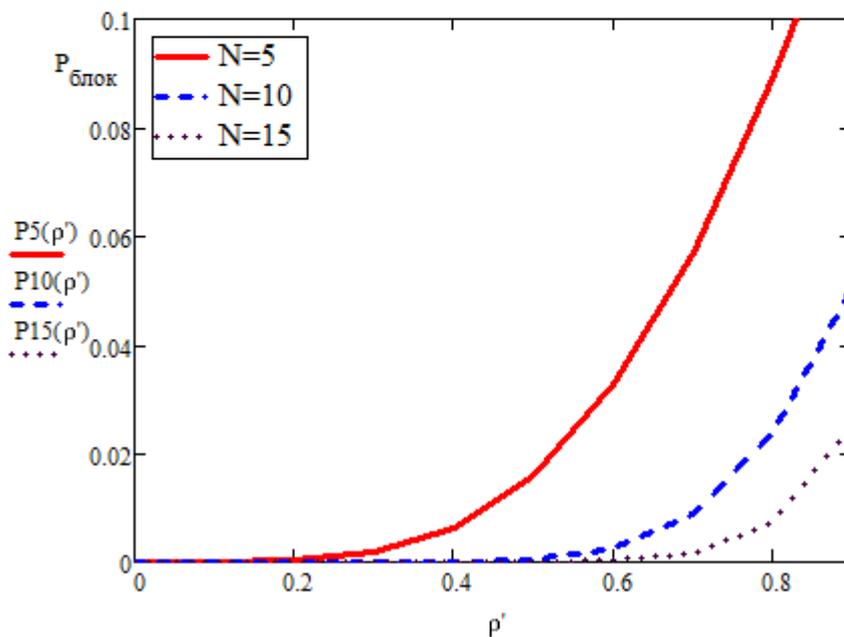


Рисунок 3.2 – Зависимость вероятности блокировки от интенсивности нагрузки в системе М/М/1/Ν

Средняя длина очереди в системе М/М/1/Ν находится по формуле [5]:

$$\bar{N} = \frac{\rho'^2 [1 - (N+1)\rho'^N + N\rho'^{N+1}]}{(1 - \rho'^{N+2})(1 - \rho')}$$
(3.6)

Инь. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инь. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------



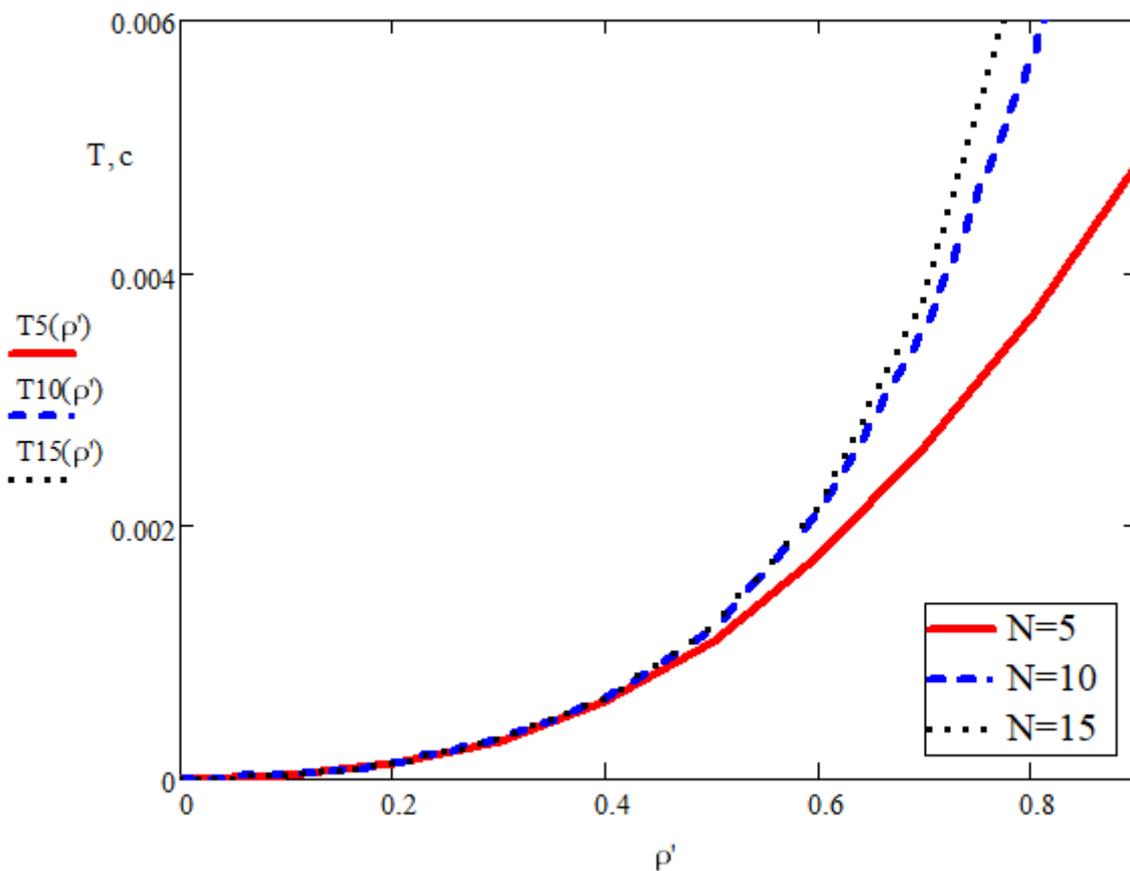


Рисунок 3.4 – Зависимость вероятности блокировки от интенсивности нагрузки в системе М/М/1/Ν

График зависимости нормированной производительности от интенсивности нагрузки в системе М/М/1/Ν для объемов буферной памяти N = 5, 10, 15 представлен на рисунке 3.6.

$$\rho' := 0,0.1..0.9 \quad n(\rho') := \frac{\gamma}{\mu'}$$

$$N := 5 \quad N2 := 10 \quad N3 := 15$$

$$n5(\rho') := \rho' \left[ 1 - \frac{\rho'^N (1 - \rho')}{1 - \rho'^{N+1}} \right] \quad n10(\rho') := \rho' \left[ 1 - \frac{\rho'^{N2} (1 - \rho')}{1 - \rho'^{N2+1}} \right] \quad n15(\rho') := \rho' \left[ 1 - \frac{\rho'^{N3} (1 - \rho')}{1 - \rho'^{N3+1}} \right]$$

Рисунок 3.5 – Программная реализация расчетов нормированной производительности для М/М/1/Ν в среде MathCad

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

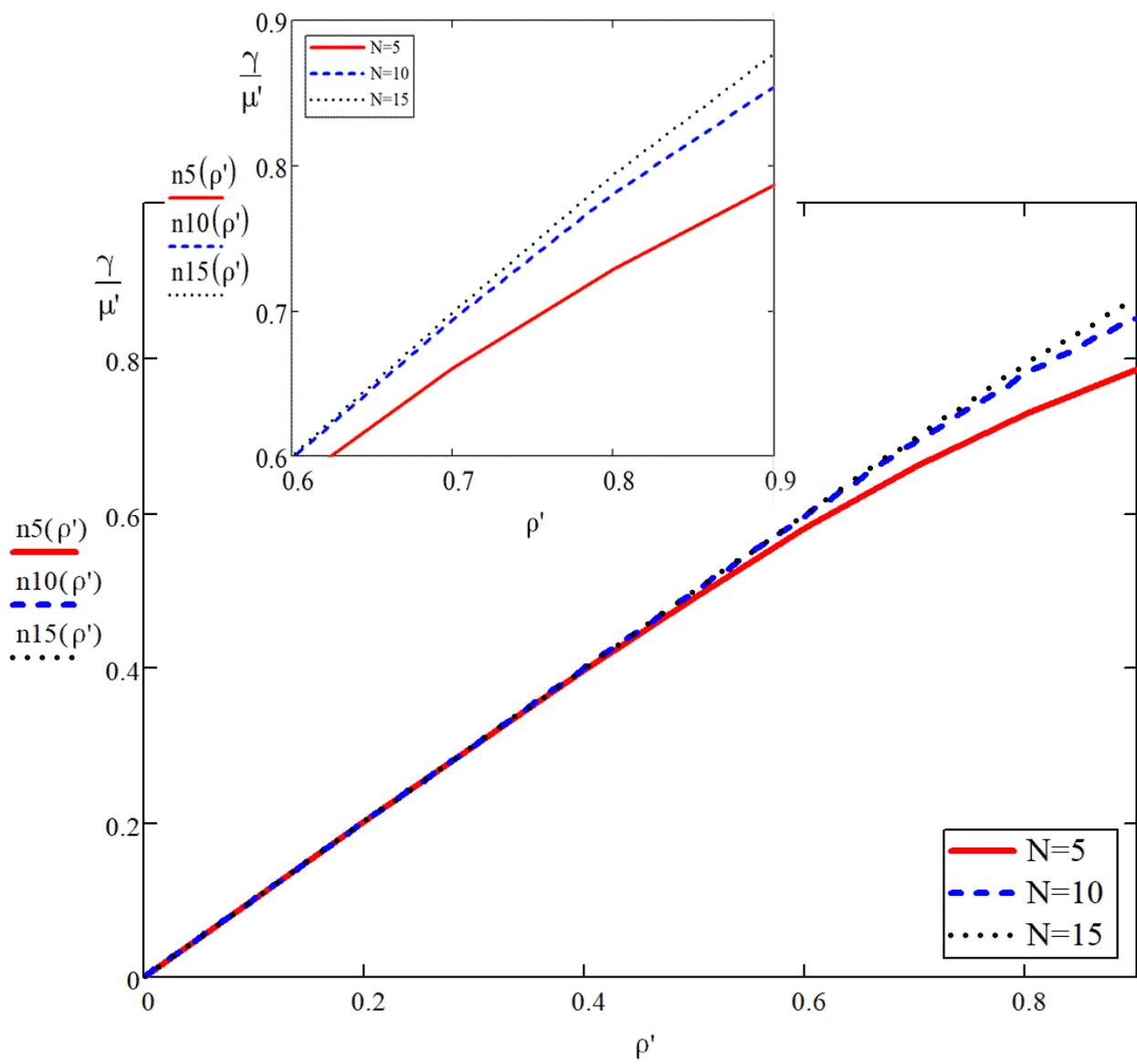


Рисунок 3.6 – Зависимость нормированной производительности от интенсивности нагрузки в системе M/M/1/N

### 3.2 Модель M/D/1/N

Рассмотрим модель с постоянным временем обслуживания M/D/1/N. Данная система имеет постоянное, а не экспоненциально распределенное

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

время обслуживания. В такой системе запросы обслуживаются в течение фиксированного периода времени.

Для данной системы вероятность блокировки определяется соотношением[6]:

$$P_{\text{блок}} = 1 - \frac{\sum_{j=0}^N \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j}}{(N-j)!}}{\sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j+1}}{(N-j+1)!}} \quad (3.8)$$

Результат решения формулы (3.8) методом итераций в программном пакете MathCad для объемов буферной памяти  $N = 5, 10, 15$ , представлены на рисунке 3.8 в виде зависимости вероятности блокировки  $P_{\text{блок}}$  от интенсивности нагрузки  $\rho'$ .

$$\begin{aligned} \rho' &:= 0, 0.1 \dots 0.9 \\ N_1 &:= 5 \quad N_2 := 10 \quad N_3 := 15 \\ P5(\rho) &:= 1 - \frac{\sum_{j=0}^N \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j}}{(N-j)!}}{\sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j+1}}{(N-j+1)!}} \quad P10(\rho) := 1 - \frac{\sum_{j=0}^{N_2} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N_2-j}}{(N_2-j)!}}{\sum_{j=0}^{N_2+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N_2-j+1}}{(N_2-j+1)!}} \\ P15(\rho) &:= 1 - \frac{\sum_{j=0}^{N_3} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N_3-j}}{(N_3-j)!}}{\sum_{j=0}^{N_3+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N_3-j+1}}{(N_3-j+1)!}} \end{aligned}$$

Рисунок 3.7 – Программная реализация расчетов вероятности блокировки системы M/D/1/N в среде MathCad

Инь. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инь. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

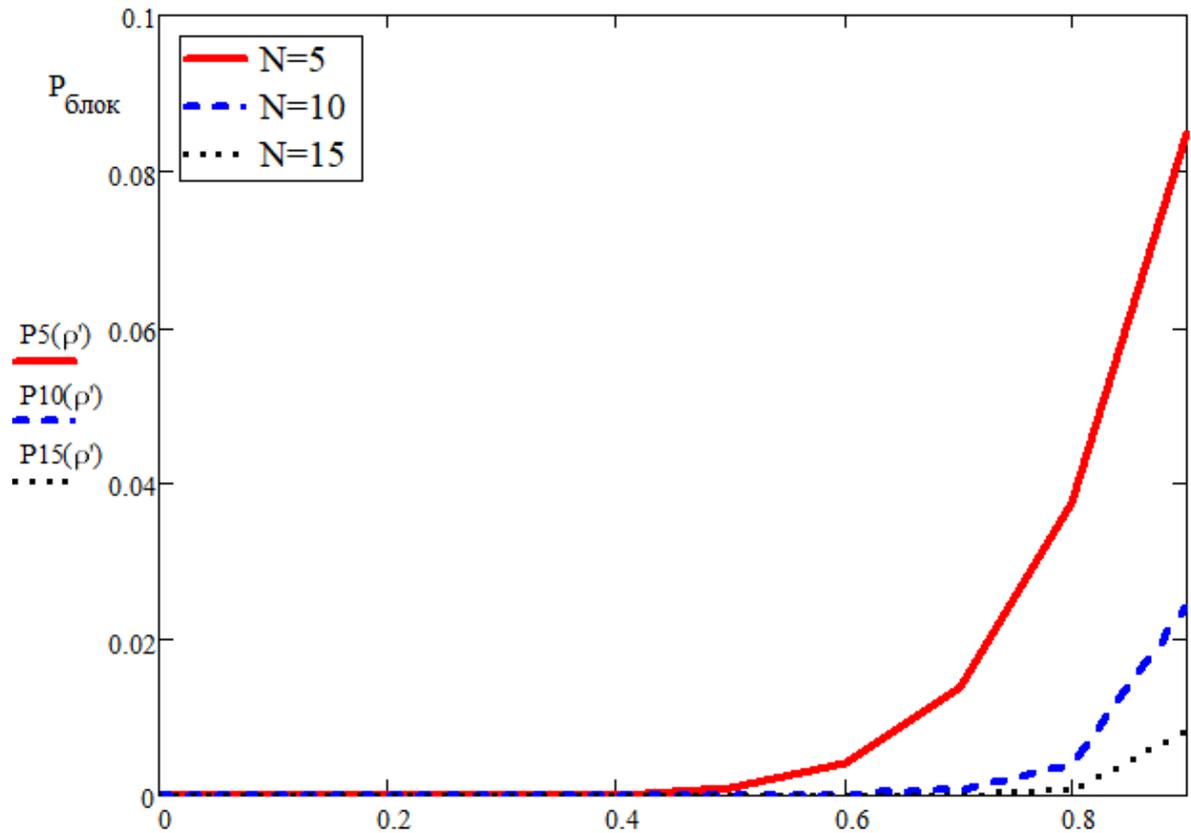


Рисунок 3.8 – Зависимость вероятности блокировки от интенсивности нагрузки в системе M/D/1/N

Среднее время задержки найдем, используя соотношение (3.7) и формулу Литтла:

$$\bar{T} = \frac{\bar{N}}{\lambda} = \frac{\sum_{n=1}^N n \cdot \left( \sum_{j=0}^n \frac{e^{j\rho'} (-j \cdot \rho')^{n-j}}{(n-j)!} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{n-j-1}}{(n-j-1)!} \right)}{\lambda \cdot \sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j\rho'} \cdot (-j \cdot \rho')^{N-j+1}}{(N-j+1)!}} \quad (3.9)$$

График зависимости данной величины от интенсивности нагрузки при пропускной способности  $C = 1920$  кбит/с (240000 байт/с) и длине ячеек ATM  $K = 53$  байта приведен на рисунке 3.10.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	ФАЭС.11.03.02.044				Лист
									35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$\begin{aligned}
 & N := 5 \quad N2 := 10 \quad N3 := 15 \quad n := 10 \\
 T5(\rho) & := \frac{\sum_{n=1}^N n \left[ \sum_{j=0}^n \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{n-j}}{(n-j)!} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{n-j-1}}{(n-j-1)!} \right]}{\frac{C}{K} \left[ 1 - 1 - \frac{\sum_{j=0}^N \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N-j}}{(N-j)!}}{\sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N-j+1}}{(N-j+1)!}} \right] \left[ \sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N-j+1}}{(N-j+1)!} \right]} \\
 T10(\rho) & := \frac{\sum_{n=1}^{N2} n \left[ \sum_{j=0}^n \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{n-j}}{(n-j)!} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{n-j-1}}{(n-j-1)!} \right]}{\frac{C}{K} \left[ 1 - 1 - \frac{\sum_{j=0}^{N2} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N2-j}}{(N2-j)!}}{\sum_{j=0}^{N2+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N2-j+1}}{(N2-j+1)!}} \right] \left[ \sum_{j=0}^{N2+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N2-j+1}}{(N2-j+1)!} \right]} \\
 T15(\rho) & := \frac{\sum_{n=1}^{N3} n \left[ \sum_{j=0}^n \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{n-j}}{(n-j)!} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{n-j-1}}{(n-j-1)!} \right]}{\frac{C}{K} \left[ 1 - 1 - \frac{\sum_{j=0}^{N3} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N3-j}}{(N3-j)!}}{\sum_{j=0}^{N3+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N3-j+1}}{(N3-j+1)!}} \right] \left[ \sum_{j=0}^{N3+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N3-j+1}}{(N3-j+1)!} \right]}
 \end{aligned}$$

Рисунок 3.9 – Программная реализация расчетов среднего времени задержки для M/D/1/N в среде MathCad

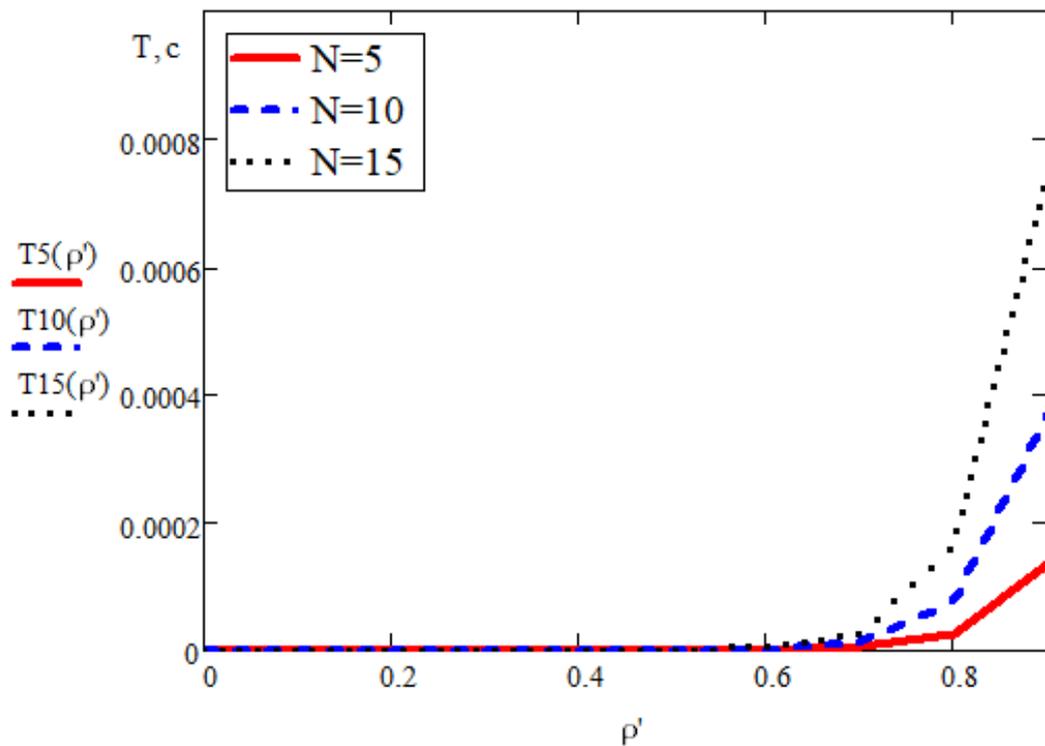


Рисунок 3.10 – Зависимость среднего времени задержки от нагрузки в системе M/D/1/N

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФАЭС.11.03.02.044	Лист
											36

График зависимости нормированной производительности от интенсивности нагрузки в системе M/D/1/N для объемов буферной памяти N = 5, 10, 15 представлен на рисунке 3.12.

$$\begin{aligned}
 &\rho' := 0,01 \dots 0,9 && n := \frac{\gamma}{\mu'} \\
 &\underline{N} := 5 & \underline{N2} := 10 & \underline{N3} := 15
 \end{aligned}$$

$$n5(\rho') := \rho' \cdot \left[ 1 - \frac{\sum_{j=0}^N \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N-j}}{(N-j)!}}{\sum_{j=0}^{N+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N-j+1}}{(N-j+1)!}} \right]$$

$$n10(\rho') := \rho' \cdot \left[ 1 - \frac{\sum_{j=0}^{N2} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N2-j}}{(N2-j)!}}{\sum_{j=0}^{N2+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N2-j+1}}{(N2-j+1)!}} \right]$$

$$n15(\rho') := \rho' \cdot \left[ 1 - \frac{\sum_{j=0}^{N3} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N3-j}}{(N3-j)!}}{\sum_{j=0}^{N3+1} \frac{e^{j \cdot \rho'} \cdot (-j \cdot \rho)^{N3-j+1}}{(N3-j+1)!}} \right]$$

Рисунок 3.11 – Программная реализация расчетов зависимости нормированной производительности от интенсивности нагрузки для M/D/1/N в среде MathCad

Инь. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инь. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

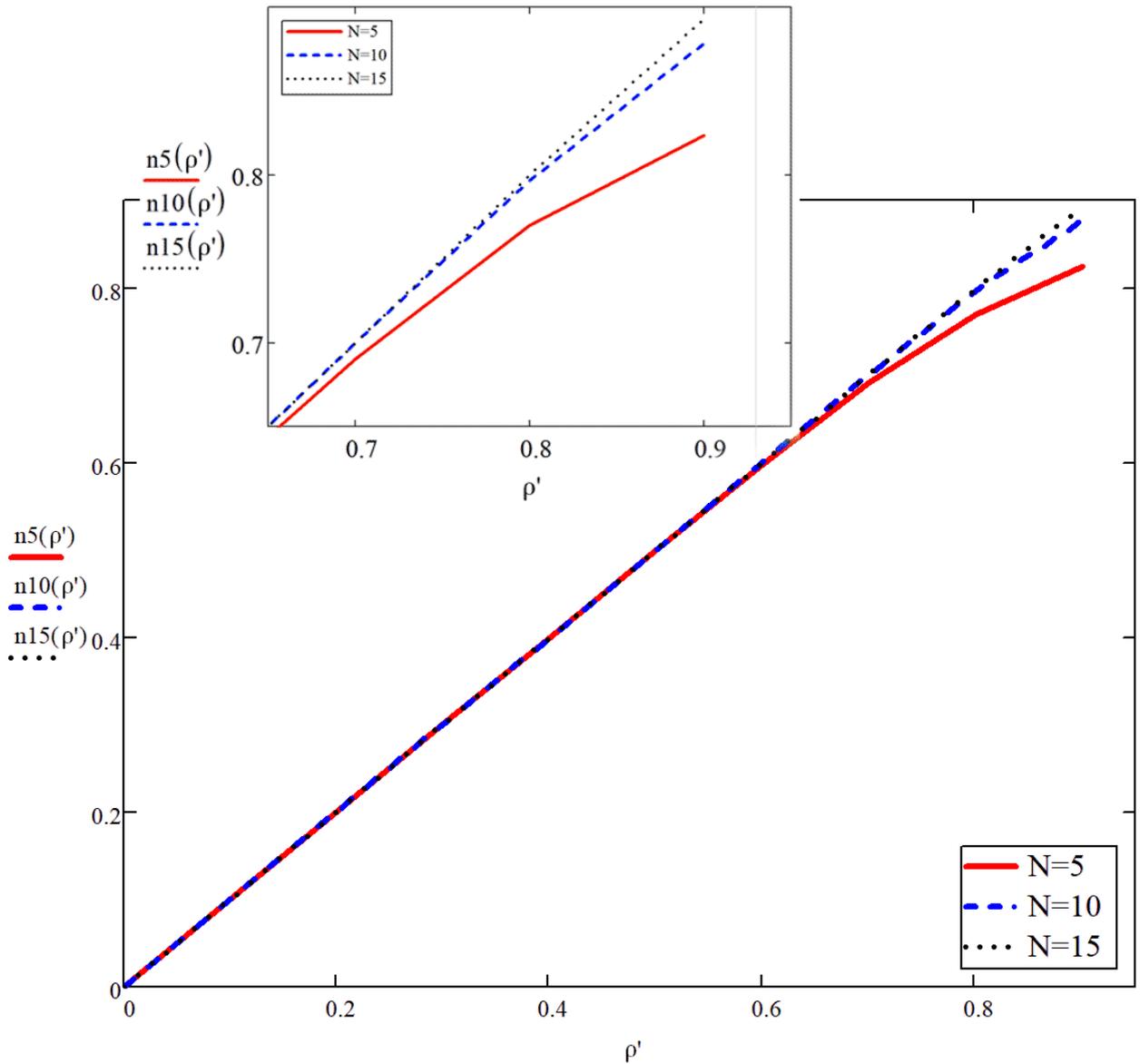


Рисунок 3.12 – Зависимость нормированной производительности от интенсивности нагрузки в системе M/D/1/N

Сравнивая результаты исследований влияния локальных перегрузок на сети с коммутацией пакетов, можно сделать следующие выводы:

- при обработке пакетов с постоянной длительностью (система M/D/1/N) системы при прочих равных условиях (интенсивности поступающей нагрузки, объеме буферной памяти узлов, пропускной способности) имеют лучшие вероятностно-временные характеристики (меньшие вероятно-

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

сти блокировок и времена задержек, более высокую производительность), чем системы обслуживающие пакеты имеющие показательное распределение (система M/M/1/N). Примером технологии с постоянной длительностью обработки пакетов может служить технология АТМ. Соответственно примером технологии с показательной длительностью обработки пакетов может служить технология IP.

– сеть с коммутацией ячеек АТМ меньше подвержена влиянию локальных перегрузок, поскольку при увеличении объема буферной памяти их удается избежать, в то время как для IP сети это невозможно.

– увеличение объемов буферной памяти сетевых узлов приводит к уменьшению вероятностей блокировок, но увеличивает времена задержек.

Инв. № подл.	Подпись и дата		Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<p style="text-align: center;"><b>ФАЭС.11.03.02.044</b></p>	Лист
						39

## 4 Безопасность жизнедеятельности

### 4.1 Характеристика опасных и вредных факторов при работе с ПК

Отрицательное воздействие компьютера на человека является комплексным. На пользователя ПК может воздействовать ряд опасных и вредных факторов, наиболее значимые из которых следующие [7]:

1. Повышенный уровень напряжения в электрических цепях питания и управления ПК, который может привести к электротравме оператора при отсутствии заземления оборудования (источник - переменный ток промышленной частоты 50Гц напряжением 220В, служащий для питания ПК, а также токи высокой частоты напряжением до 1200В систем питания отдельных схем и узлов дисплея).

2. Излучения от экрана монитора. Как показали результаты многочисленных научных работ с использованием новейшей измерительной техники зарубежного производства, монитор ПК является источником:

- электромагнитного излучения в низкочастотном, высокочастотном и сверхвысокочастотном диапазоне;
- мягкого рентгеновского излучения от электроннолучевой трубки
- ультрафиолетового излучения;
- инфракрасного излучения;
- электростатического поля.

3. Не соответствующие нормам параметры микроклимата: повышенная температура из-за постоянного нагрева деталей ПК, пониженная влажность.

4. Нарушение норм по аэроионному составу воздуха, особенно в помещениях с разной системой приточно-вытяжной вентиляции и (или) с кондиционерами, при этом концентрация полезных для организма отрицательно заряженных легких ионов кислорода воздуха (аэроионов) может быть в 10-50

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

раз ниже нормы, а концентрация вредных положительных ионов значительно превышать норму.

5. Пониженный или повышенный уровень освещенности в помещении; не соответствующие санитарным нормам визуальные параметры дисплея.

Деятельность оператора предполагает, прежде всего, визуальное восприятие отображаемой на экране монитора информации, поэтому значительной нагрузке подвергается зрительный аппарат работающих с ПК. Наиболее сильно влияет на зрение:

– Несовершенство способов создания изображения на экране монитора. Эта группа факторов включает в себя:

- неоптимальные параметры схем развертки ЭЛТ;
- несовместимость параметров монитора и графического адаптера;
- недостаточно высокое разрешение монитора, расфокусировка, несведение лучей и низкий уровень других его технических характеристик;
- избыточная или недостаточная яркость изображения.

– Непродуманная организация рабочего места, которая является причиной:

- наличия бликов на лицевой панели экрана;
- отсутствия необходимого уровня освещенности рабочих мест;
- несоблюдения расстояния от глаз оператора до экрана.

6. Повышенный уровень шума в системном блоке компьютера являются:

- вентилятор процессора;
- вентилятор видеокарты;
- вентилятор блока питания;
- вентиляторы системного блока;
- жесткий диск;

Инва. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФАЭС.11.03.02.044

- оптические приводы.

Повышенный уровень шума также может быть от работающих вентилятора охлаждения ПК и принтера, от неотрегулированных источников, люминесцентного освещения. Работающий компьютер создает акустические шумы, включая ультразвук.

7. Повышенный уровень загазованности воздуха (в первую очередь - по углекислому газу и аммиаку, которые образуются при выдыхании); повышенное содержание в воздухе патогенной (вызывающей заболевания) микрофлоры (прежде всего – стафилококка) особенно зимой при повышенной температуре в помещении, плохом проветривании, пониженной влажности, нарушении аэроионного состава воздуха. Совсем недавно ученые обнаружили данные о наличии связи между появлением аллергии, головной болью, кожным зудом и работой за компьютером. Исследования, проведенные группой ученых из Швеции, показали, что при работе компьютера в атмосферу выделяется трифенил фосфат, входящий в состав огнестойкого материала, используемого для отливки корпуса мониторов. При включенном мониторе пластик нагревается, а вещество высвобождается и попадает в организм, вызывая аллергические реакции.

8. Психофизиологическая напряженность труда, включающая:

- монотонность труда;
- повышенное умственное напряжение из-за большого объема перерабатываемой и усваиваемой информации;
- повышенное нервно-эмоциональное напряжение (при этом ускоряется вывод из организма многих жизненно важных и необходимых витаминов и микроэлементов);
- длительные статические нагрузки. Кроме того, наличие внешних постоянно действующих факторов:
- наличие в воздухе рабочей зоны вредных веществ (окиси углерода, озона, аммиака, окислов азота, серы и т.п.), солей тяжелых металлов

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата


ФАЭС.11.03.02.044

и органических соединений (фенола, бензопирена, формальдегида, полихлорированных бенфенилов, свободных радикалов и др.);

- резкое ухудшение качества воздуха по аэроионному составу, увеличения в нем содержания различных аллергенов, грибков, вирусов, бактерий, микроорганизмов; рост информационных нагрузок извне (причем не только во время работы на ПК).

Все это вызывает дополнительные психические перегрузки, стрессы, что также повышает вероятность заболеваний органов зрения и других наиболее нагруженных и ослабленных органов [7].

Если перечисленные факторы воздействуют на человека, организм которого не совсем здоров, то такое комплексное отрицательное воздействие значительно усугубляется. (По статистике людей, страдающими желудочно-кишечными заболеваниями, (прежде всего гастритами, дисбактериозами различной степени), бронхолегочными заболеваниями, или испытывающих недостаток многих жизненно-важных витаминов, макро- и микроэлементов, белков, аминокислот – почти 90%).

#### 4.2 Безопасность оборудования

Государственный стандарт РФ «ГОСТ Р МЭК 60950-2002» распространяется на оборудование информационных технологий, включая электрическое офисное и связанное с ним оборудование, питание которого осуществляется от электросети или батареи с номинальным напряжением, не превышающим 600 В.

Стандарт распространяется на оборудование, спроектированное и предназначенное для подсоединения непосредственно к телекоммуникационной сети независимо от источника питания.

Стандарт устанавливает требования, обеспечивающие меры по уменьшению опасности пожара, электрического удара или иной опасности для

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

оператора и неспециалиста, которые могут иметь контакт с оборудованием, а также, если это особо оговорено, обслуживающего персонала.

Требования стандарта «ГОСТ Р МЭК 60950-2002» используют только применительно к безопасности.

Для того чтобы установить соответствие требованиям безопасности, цепи и конструкция должны тщательно исследоваться с целью принятия во внимание последствий возможных неисправностей [8].

1. Проектирование и изготовление оборудования:

Оборудование должно быть сконструировано и изготовлено таким образом, чтобы при всех условиях нормальной эксплуатации и в случае любого возможного отказа или при единичном повреждении защита уменьшала риск персонала от поражения электрическим током и других опасностей, а также от возникновения в оборудовании опасности возгорания.

2. Напряжение питания:

Оборудование должно разрабатываться так, чтобы оставаться безопасным при любом напряжении питания, на которое оно рассчитано.

3. Нерассмотренные методы конструирования:

В случае, когда оборудование включает в себя технологии, материалы или методы конструирования, не отраженные в настоящем стандарте, такое оборудование должно обеспечивать уровень безопасности не ниже требований настоящего стандарта.

4. Замена материалов:

В случае, когда стандарт определяет конкретный класс изоляции, использование изоляции более высокого класса разрешается. Аналогично, в случае, когда стандарт требует применение материала конкретного класса воспламеняемости, использование материала более высокого класса разрешается.

5. Положение оборудования при транспортировании и использовании:

Инь. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инь. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<b>ФАЭС.11.03.02.044</b>	Лист
						44

В случае, когда от ориентации оборудования зависит выбор требований и видов испытаний, необходимо учитывать все возможные пространственные положения оборудования из разрешенных в инструкции по установке или инструкции для потребителя. Для переносного оборудования все возможные положения должны быть приняты во внимание.

#### 4.3 Специальная оценка рабочих мест с ПЭВМ

Специальная оценка условий труда (далее - спецоценка) является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса (далее - вредные и (или) опасные производственные факторы) и оценке уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных гигиенических нормативов условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников. Обязательность проведения спецоценки установлена федеральным законом "О специальной оценке условий труда" № 426-ФЗ от 28.12.2013.

Спецоценку проводит работодатель совместно с организацией, проводящей специальную оценку условий труда. Периодичность такой оценки 1 раз в 5 лет. Спецоценка не проводится на рабочих местах надомников, дистанционных работников и работников, вступивших в трудовые отношения с работодателями - физическими лицами, не являющимися индивидуальными предпринимателями (ст. 3, часть 3 ФЗ 426) [11].

Субъекты специальной оценки условий труда:

- работодатель (директор);
- комиссия по проведению специальной оценки условий труда;
- организация, проводящая специальную оценку условий труда;
- эксперты организаций, проводящих специальную оценку условий труда.

Инва. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инва. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФАЭС.11.03.02.044

В целях проведения специальной оценки условий труда исследованию и измерению подлежат следующие вредные и (или) опасные факторы производственной среды:

1) физические факторы - аэрозоли преимущественно фиброгенного действия, шум, инфразвук, ультразвук воздушный, вибрация общая и локальная, неионизирующие излучения (электростатическое поле, постоянное магнитное поле, электрические и магнитные поля промышленной частоты (50 Герц), переменные электромагнитные поля, в том числе радиочастотного диапазона и оптического диапазона (лазерное и ультрафиолетовое), ионизирующие излучения, параметры микроклимата (температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, инфракрасное излучение), параметры световой среды (искусственное освещение (освещенность) рабочей поверхности);

2) химические факторы - химические вещества и смеси, измеряемые в воздухе рабочей зоны и на кожных покровах работников, в том числе некоторые вещества биологической природы (антибиотики, витамины, гормоны, ферменты, белковые препараты);

3) биологические факторы - микроорганизмы- продуценты, живые клетки и споры, содержащиеся в бактериальных препаратах, патогенные микроорганизмы - возбудители инфекционных заболеваний.

В [11] сказано, что в целях проведения специальной оценки условий труда исследованию и измерению подлежат следующие вредные и опасные факторы трудового процесса:

- 1) тяжесть трудового процесса - показатели физической нагрузки на опорно-двигательный аппарат и на функциональные системы организма работника;
- 2) напряженность трудового процесса - показатели сенсорной нагрузки на центральную нервную систему и органы чувств работника.

Инва. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инва. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<b>ФАЭС.11.03.02.044</b>	Лист
						46

Испытательная лаборатория (центр) проводит исследования (испытания) и измерения следующих вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха;
- 4) интенсивность и экспозиционная доза инфракрасного излучения;
- 5) радиоактивное загрязнение производственных помещений, элементов производственного оборудования, средств индивидуальной защиты и кожных покровов работников;
- 6) уровень звука;
- 7) общий уровень звукового давления инфразвука;
- 8) вибрация общая и локальная;
- 9) освещенность рабочей поверхности;

#### 4.4 Экологические проблемы утилизации ПК

Проблемы утилизации компьютерного мусора актуальны во всем мире. Экологические службы давно бьют тревогу, поскольку неправильно переработанный или вовсе оставленный без присмотра, он может стать причиной непоправимых последствий. Отжившая свой век компьютерная техника, вступая в химические реакции с другими продуктами, начинает выделять в окружающую среду вреднейшие вещества. Так некогда престижная и безопасная техника становится источником трудно нейтрализуемых заражений грунта, воздуха, воды.

Обеспокоенность общественности проблемами экологии, а также новые, более жесткие законы по защите окружающей среды вынуждают крупных производителей оборудования создавать сети по сбору вышедшей из обращения техники и заводы по ее утилизации. Кроме того, в конструкции обо-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

рудования максимально увеличивается доля материалов, пригодных для переработки. Размеры сети по утилизации "электронного лома" зависят от региона и местного законодательства. Так, например, в Западной Европе, где экологические законы весьма строги, компания Hewlett-Packard создала весьма внушительную инфраструктуру по сбору и переработке устаревших компьютеров и оргтехники. Всего в Европе продукцию HP перерабатывают 30 заводов, один из которых находится в России.

Вся оргтехника включает в свой состав как органические составляющие (пластик различных видов, материалы на основе поливинилхлорида, фенолформальдегида), так и почти полный набор металлов [14].

В таблице 4.1 приведены ориентировочные данные.

Таблица 4.1 – Наименование: благородные металлы, черные и цветные металлы, полимеры и стекло

Au, гр	Ag, гр	Al, кг	Cu, кг	Fe, кг	АБС (пластик),кг	Стекло, кг
0,05-0,09	0,8-1,1	0,1-0,4	0,1-0,2	3-4	3-3,5	10-20

Все эти компоненты не являются опасными в процессе эксплуатации изделия. Однако ситуация коренным образом меняется, когда изделие попадает на свалку.

Техногенный мусор в виде отслуживших свой срок компьютерных мониторов не может быть уничтожен самой природой. Более того, их громоздкость и наличие внутри ядовитых химических веществ не позволяют подвергать эту технику уничтожению способом сожжения.

Такие металлы, как свинец, сурьма, ртуть, кадмий, мышьяк входящие в состав электронных компонентов переходят под воздействием внешних условий в органические и растворимые соединения и становятся сильнейшими ядами. Утилизация пластиков, содержащих ароматические углеводороды, органические хлорпроизводные соединения является насущной проблемой

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

экологии, поэтому вся оргтехника должна утилизироваться по методике утвержденной Государственным комитетом РФ по телекоммуникациям (от 19 октября 1999 г.). Благодаря комплексной системе утилизации оргтехники сводятся к минимуму не перерабатываемые отходы, а основные материалы (пластмассы, цветные и черные металлы) и ценные компоненты (редкие металлы, люминофор, ферриты и др.) возвращаются в производство. Драгметаллы, содержащиеся в электронных компонентах оргтехники, концентрируются и после переработки на аффинажном заводе сдаются в Госфонд.

Рециклинг отходов - прорывной проект XXI века

Последние три года в мире очень популярна идея экологов, именуемая принципом «трех R».

Инициатива 3R (Reduce, Reuse, Recycle), как следует из самого названия, направлена на сокращение производства отходов, их повторное использование и переработку (рециклинг), что, в конечном счете, призвано содействовать решению таких взаимосвязанных между собой задач как обеспечение экономики ресурсами, достаточными для ее устойчивого роста, и тем самым для устойчивого развития общества, при одновременном снижении негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Реализация «Инициативы 3R» направлена на создание общества, ориентированного на ресурсосбережение, на такое развитие экономики, при котором становится возможным обеспечить охрану окружающей среды.

Цивилизованные страны давно уже научились перерабатывать мусор, сохраняя природные ресурсы.

Для того чтобы заставить жителей сортировать мусор, необходимо принципиально изменить наше отношение к отходам. Для нас любой продукт интересен до тех пор, пока он приносит пользу. Например, мы покупаем эскимо. Нам в равной степени (даже юридически!) принадлежит и само мороженое, и цветная упаковка, и палочка. Но, съев мороженое, мы выкидываем обертку на асфальт, не заботясь о том, что с ней произойдет дальше. Между

Инь. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
--------------	----------------	--------------	--------------	----------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФАЭС.11.03.02.044

тем каждый европеец, утверждают психологи, чувствует ответственность за принадлежащую ему вещь, поэтому обязательно донесет ее до урны и позаботится о том, чтобы она попала в правильный контейнер, а потом была переработана.

Сложность проведения агитации за отдельный сбор мусора связана также с некоторыми техническими моментами. Во-первых, во многих домах есть мусоропроводы. Системы, позволяющей опускать в трубопровод уже сортированный в квартире мусор, пока нет. Кто же будет таскать во двор пакеты, если их можно спокойно сбросить в мусоропровод? Другая трудность: для отдельного мусора потребуются большее количество контейнеров, а для них - специальные площадки. Пока таких в наших городах можно пересчитать по пальцам.

Применяя принципы «Инициативы 3R» в отношении вторичных ресурсов (reduce - сокращение, reuse - повторное использование, recycle - переработка), мы признаём, что то, каким образом мы используем ресурсы в ходе их жизненного цикла, важно для процветания мировой экономики и окружающей среды.

Инва. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФАЭС.11.03.02.044

## Заключение

В данной работе рассмотрены теоретические положения, касающиеся систем массового обслуживания. В результате сравнительного анализа расчетов полученных по формуле Поллачека – Хинчина с результатами имитационного моделирования было установлено, что погрешность моделирования не превышает 5%. С позиции теории очередей было проведено сравнение результатов расчета характеристик для простейшего потока поступающих пакетов системы массового обслуживания типа M/M/1/N в случае коммутации дейтаграмм IP и системы M/D/1/N в случае коммутации ячеек АТМ.

С помощью пакета MathCad были сгенерированы длительность обслуживания заявок и время поступления сообщений. В результате моделирования данной задачи были сгенерированы потоки по показательному и распределению Парето и построены графики.

Результаты моделирования показали, что при росте трафика время ожидания сообщений в очереди отличается от значений, полученных по известным формулам модели M/G/1.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	ФАЭС.11.03.02.044					Лист
										51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

## Библиография

- 1 Жигулин Г.П., Новосадов С.Г., Яковлев А.Д. Информационная безопасность: Учебник. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2003. - 150 с.
- 2 Жигулин Г.П., Осовецкий Л.Г., Звонов В.С. Парадигма безопасности. Научно-практическая конференция «Безопасность и защита сетевых технологий. Common Criteria». Тезисы докладов. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007, С.-12.
- 3 Таненбаум Э. Компьютерные сети. - 4-е изд. - СПб.: Питер, 2003. - 992 с.
- 4 Кашин М.М. Методы борьбы с перегрузками в сети SIP // Инфокоммуникационные технологии Том 9, № 1 - Самара, 2011, С. -67-70.
- 5 Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. Ч.1.М.: Наука, 1992. – 336 с.
- 6 Гайдамака Ю.В., Масленников А.Г. Об одной системе массового обслуживания с активным управлением очередью // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». – 2013. – №4. – С. 56–64.
- 7 Н.Н. Симакова. Организация рабочих мест с персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ). Учебное пособие/ФГОБУ ВПО СибГУТИ. – Новосибирск, 2013г. – 78 с.
- 8 ГОСТ Р МЭК 60950-2002 Безопасность оборудования информационных технологий. – Введ. 2002-11-04. – М.: Госстандарт России, 2002. – 148с.
- 9 Работа с пакетом MathCAD – URL: [https://studwood.ru/2036818/informatika/rabota\\_paketom\\_mathcad](https://studwood.ru/2036818/informatika/rabota_paketom_mathcad) (дата обращения 29.05.2018).
- 10 Программирование в среде MathCad – URL: <http://www.tolstykh.com/edu/manual/MathCAD.pdf> (дата обращения 29.05.2018).

Инь. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инь. № дубл.	Подпись и дата
--------------	----------------	--------------	--------------	----------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<b>ФАЭС.11.03.02.044</b>	Лист 52

11 Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ (ред. от 01.05.2016) «О специальной оценке условий труда».

12 Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование: Учебник. - М.: Финансы и статистика, 2010. – 162 с.

13 Бойченко М. К., Иванов И. П. Мониторинг ресурсов узлов корпоративной сети // Вестник МГТУ. Приборостроение № 2 - М., 2009. С.-114-120.

14 Проблема экологии – URL: [https://studwood.ru/1177328/ekologiya/problema\\_ekologii](https://studwood.ru/1177328/ekologiya/problema_ekologii) (дата обращения 3.05.2018)

Инва. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФАЭС.11.03.02.044

