

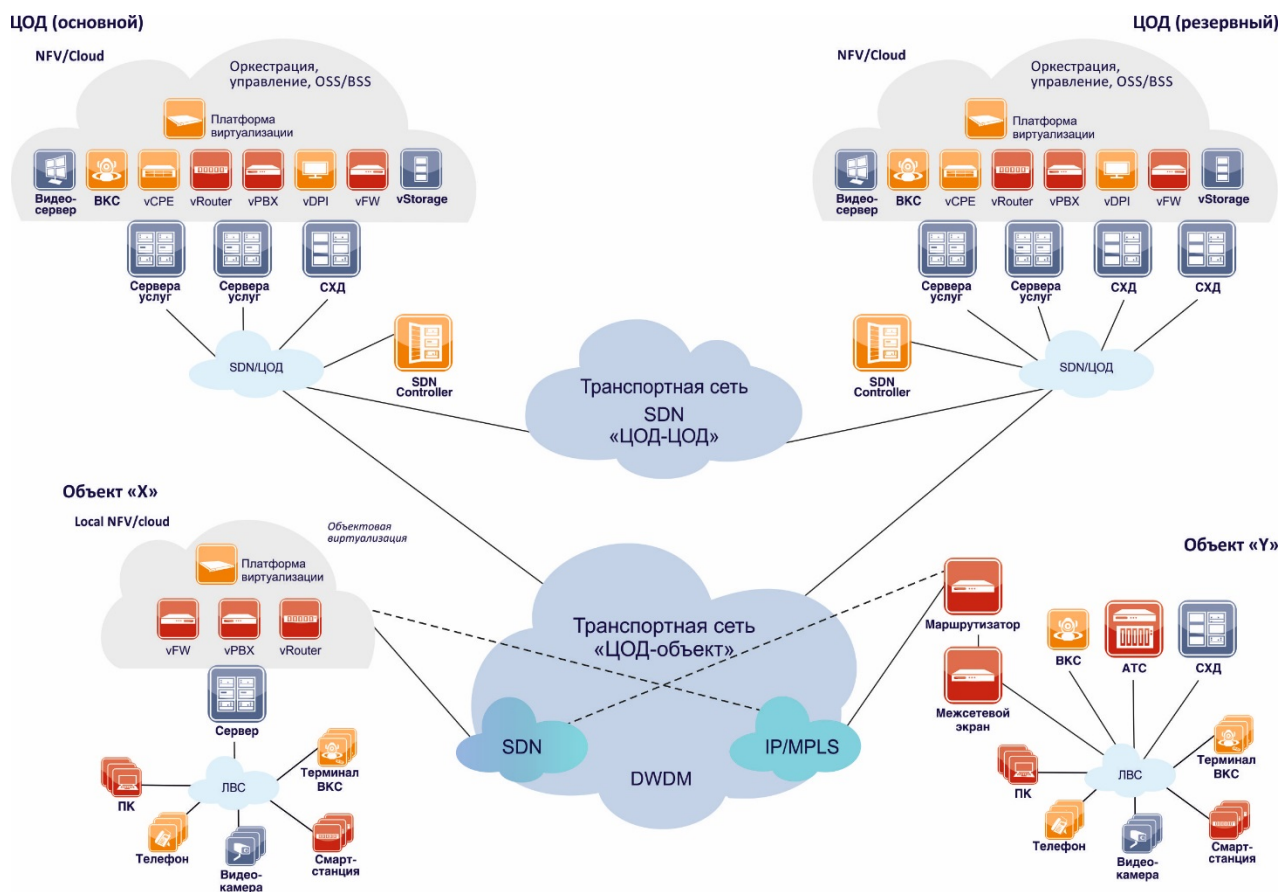


Давыдов А. Е., Смирнов П. И., Пармонов А. И.

Проектирование телекоммуникационных систем и сетей

Раздел Лабораторные исследования сетей связи и передачи
данных

Учебное пособие



Санкт-Петербург
Университет ИТМО

2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Давыдов А.Е., Смирнов П.И., Парамонов А.И.

**Проектирование телекоммуникационных систем и
сетей**

**Раздел Лабораторные исследования сетей связи и
передачи данных**

Учебное пособие

Санкт-Петербург

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

2016

УДК 621.391 + 004.7

А.Е. Давыдов, П.И. Смирнов, А.И. Парамонов. Проектирование телекоммуникационных систем и сетей. Раздел Лабораторные исследования сетей связи и передачи данных. СПб: Университет ИТМО, 2016. – 36 с.

В пособии рассматриваются вопросы применения теоретических основ в практических методах проектирования телекоммуникационных систем и сетей в части расчетов параметров сетей связи и анализа трафика, овладение которыми будет полезно исследователям и аналитикам, занимающимся задачами проектирования телекоммуникационных систем и сетей связи.

Пособие адресовано студентам, изучающим дисциплину «Проектирование телекоммуникационных систем и сетей». Направление подготовки 09.04.01.

Рекомендовано к печати Ученым советом факультета Компьютерных технологий и управления, протокол № _8_ от _11_ октября 2016 г.

Рецензент: профессор, д.т.н. Кучерявых А.Е., зав кафедрой сетей связи и передачи данных СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2016

© А.Е. Давыдов, П.И. Смирнов, А.И. Парамонов, 2016

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Расчет сети телефонной связи.....	5
1.1 Цель работы и изучаемы вопросы	5
1.2 Подготовка к работе	5
1.3 Задание на самостоятельную работу	6
1.4 Задание на лабораторную работу.....	6
1.5 Содержание отчета	6
1.6 Контрольные вопросы.....	6
2 Лабораторная работа № 2. Анализ параметров трафика сети передачи данных	7
2.1 Цель работы и изучаемы вопросы	7
2.2 Подготовка к работе	7
2.3 Задание на самостоятельную работу	7
2.4 Задание на лабораторную работу.....	8
2.5 Содержание отчета	8
2.6 Контрольные вопросы.....	8
3 Лабораторная работа № 3. Расчет сети передачи данных	9
3.1 Цель работы и изучаемы вопросы	9
3.2 Подготовка к работе	9
3.3 Задание на самостоятельную работу	9
3.4 Задание на лабораторную работу.....	10
3.5 Содержание отчета	10
3.6 Контрольные вопросы.....	10
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	12
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	13
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	19
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	28
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	29

Введение

В настоящем учебном пособии приведены описания, методы и рекомендации по выполнению лабораторных исследований по курсу «Проектирование телекоммуникационных систем и сетей». В учебном пособии рассматриваются основные задачи, связанные с выбором параметров проектируемых решений в задачах построения телекоммуникационных систем. В лабораторных исследованиях рассмотрены задачи выбора необходимых ресурсов сети связи при заданных требованиях к качеству обслуживания и надежности при известных параметрах абонентского трафика, а также задачи анализа параметров абонентского трафика.

Курс включает в себя три работы, направленные на изучение задач построения сетей телефонной связи с коммутацией каналов, анализа трафика передачи данных и задач построения сетей передачи данных.

Методические указания к каждой из работ содержат:

- формулировку цели работы и решаемых задач;
- описание подготовительного этапа;
- описание заданий на подготовительную самостоятельную работу;
- описание заданий на выполнение лабораторной работы;
- руководство по выполнению лабораторной работы,
- описание содержания отчета по работе;
- контрольные вопросы для самопроверки.

Методические указания также содержат:

- описание правил и рекомендаций по оформлению отчетов;
- шаблоны представления необходимых материалов отчетов;
- список рекомендуемой литературы по тематикам выполняемых работ.

1 Лабораторная работа № 1. Расчет сети телефонной связи

1.1 Цель работы и изучаемые вопросы

Цель работы: изучение принципов построения сети телефонной связи с коммутацией каналов, свойств абонентского трафика, показателей качества функционирования и методов расчета параметров сети.

Изучаемые вопросы:

1. Структура сетей телефонной связи (автоматические телефонные станции, узлы входящих и исходящих сообщений, местные, зональные, междугородные и международные сети, понятие первичной и вторичной сетей связи, современное состояние в области построения сетей телефонной связи).

2. Понятие абонентской нагрузки (объем нагрузки, интенсивность нагрузки, удельная абонентская нагрузка, час наибольшей нагрузки, колебания нагрузки, поступающая, обслуженная и потерянная нагрузки).

3. Показатели качества функционирования сети телефонной связи (качество передачи речи, потери вызовов, методы оценки, существующие требования и нормативные значения, рекомендации ITU-T и нормативные отраслевые документы).

4. Математические модели, применяемые для расчета параметров сетей телефонной связи (модель потока телефонных вызовов – понятие простейшего потока, модель системы обслуживания – 1-я формула Эрланга, применение для расчета необходимой канальной емкости соединительных линий).

5. Показатели надежности сети связи (коэффициент готовности, структурная надежность сети связи, математические модели, методы расчета).

1.2 Подготовка к работе

Изучить теоретический материал из рекомендованной литературы и учебного пособия «Проектирование телекоммуникационных систем и сетей. Раздел Коммутируемые сети связи. Расчет параметров сетей связи и анализ трафика» по вопросам, рассматриваемым в работе:

1. Структура сети телефонной связи.
2. Понятие абонентской нагрузки.
3. Показатели качества функционирования сети телефонной связи.
4. Математические модели, применяемые для расчета параметров сетей телефонной связи.
5. Показатели надежности сетей телефонной связи.
6. Пример оформления Лабораторной работы №1.

1.3 Задание на самостоятельную работу

1. Выбрать параметры узла связи согласно заданию (варианту).
2. Выбрать параметры абонентской нагрузки.
3. Выбрать нормативное значение коэффициента потерь.
4. Подготовить средства для вычисления необходимого число соединительных линий (каналов), для подключения узла к сети связи.

1.4 Задание на лабораторную работу

1. Вычислить параметры трафика узлов связи.

На основе данных о количестве абонентов, удельной абонентской нагрузки и коэффициентах распределения трафика вычислить интенсивность абонентской нагрузки, производимой в заданных направлениях связи.

2. Вычислить нормативную величину коэффициента потерь.
4. Вычислить коэффициенты распределения трафика.
5. Вычислить распределение трафика по линиям связи.
6. Вычислить количество линий (каналов) связи.

1.5 Содержание отчета

Титульный лист.

1. Исходные данные и требования (согласно варианту).
2. Модель сети связи.
3. Трафик, производимый в узлах связи.
4. Коэффициенты распределения трафика.
5. Распределение трафика по линиям связи.
6. Расчет количества линий (каналов) связи.

1.6 Контрольные вопросы

1. Понятие телефонной нагрузки.
2. Что такое величина нагрузки, интенсивность нагрузки.
3. Удельная абонентская нагрузка.
4. Понятие часа наибольшей нагрузки (ЧНН).
5. Продолжительность занятия.
6. Простейший поток заявок (вызовов), основные свойства простейшего потока.
7. Показатели качества обслуживания в сети телефонной связи.
8. Существующие нормативные значения на показатели качества обслуживания, нормативные документы.
9. Сеть как система массового обслуживания, математическая модель пучка соединительных линий.
10. Первая формула Эрланга.

Пример оформления отчета по работе приведен в Приложении 2.

2 Лабораторная работа № 2. Анализ параметров трафика сети передачи данных

2.1 Цель работы и изучаемые вопросы

Цель работы: изучение свойств трафика в сети передачи данных, параметров трафика, характеристик потоков трафика, методов измерений и анализа параметров трафика и качества обслуживания.

Изучаемые вопросы:

1. Трафик сетей передачи данных (услуги связи, особенности трафика различных услуг связи, параметры трафика – интенсивность трафика, интенсивность пакетов, длины пакетов данных).
2. Методы анализа свойств трафика (измерения, план проведения измерений, объем выборки, контроль данных измерений, анализ данных, представление результатов измерений).
3. Потоковые характеристики трафика (распределение числа пакетов данных, распределение интервалов времени между пакетами, распределение длины пакета – методы измерения и анализа).
4. Математические модели трафика (простейший поток, другие виды потоков, самоподобные потоки, понятие фрактального трафика – параметр Херста).
5. Методы анализа качества обслуживания (измерения задержки, коэффициента потерь – методы проведения измерений и анализа результатов).

2.2 Подготовка к работе

Изучить теоретический материал из рекомендованной литературы и учебного пособия «Проектирование телекоммуникационных систем и сетей. Раздел Коммутируемые сети связи. Расчет параметров сетей связи и анализ трафика» по вопросам, рассматриваемым в работе:

1. Трафик сети передачи данных.
2. Методы анализа свойств трафика.
3. Потоковые характеристики трафика.
4. Математические модели трафика.
5. Методы анализа качества обслуживания.

2.3 Задание на самостоятельную работу

1. Выбрать исследуемую услугу согласно заданию (варианту).
2. Изучить основные характеристики и параметры трафика.
3. Изучить основные методы работы с программным обеспечением, используемым в лабораторной работе (Wireshark, табличный процессор).
4. Изучить методы обработки результатов измерений.

2.4 Задание на лабораторную работу

1. Подготовить средства измерений трафика.
2. Произвести измерения параметров трафика.
4. Выполнить обработку результатов измерений.
5. Вычислить интервальные оценки основных параметров трафика.
6. Сформулировать выводы.

2.5 Содержание отчета

1. Описание модельной сети и условий проведения измерений.
2. Проведение измерений и подготовка данных.
3. Вычисление оценок параметров трафика.
4. Доверительные интервалы для полученных оценок.
5. Результаты оценки параметров трафика.

2.6 Контрольные вопросы

1. Понятие трафика.
2. Основные параметры трафика в сети передачи данных.
3. Основные показатели качества обслуживания трафика.
5. Математические модели описания трафика.
5. Методы измерения параметров трафика.
6. Основные виды ошибок.
7. Точечные и интервальные оценки параметров трафика.
8. Доверительный интервал, способы вычисления.
9. Связь между объемом выборки и точностью оценок параметров.
10. Доверительная вероятность, связь с шириной доверительного интервала.

Пример оформления отчета по работе приведен в Приложении 4.

3 Лабораторная работа № 3. Расчет сети передачи данных

3.1 Цель работы и изучаемые вопросы

Цель работы: изучение математических моделей сетей передачи данных с коммутацией пакетов, особенностей услуг, свойств производимого ими трафика, показателей качества функционирования и методов расчета.

Изучаемые вопросы:

1. Основные виды услуг и свойства трафика (поточковый, интерактивный и фоновый трафик, продолжительность сессии, интенсивность трафика, потоковые характеристики, выбор модели трафика).

2. Показатели качества функционирования сетей передачи данных (задержка доставки пакета, джиттер, коэффициент потерь, коэффициент ошибок, методы оценки, существующие требования и нормативные значения, рекомендации ITU-T и нормативные отраслевые документы).

3. Математические модели, применяемые для расчета параметров сетей передачи данных (модель простейшего потока и системы с отказами, модели M/M/1, M/D/1, M/G/1, G/G/1, применение для расчета необходимой пропускной способности).

3.2 Подготовка к работе

1. Изучить основные свойства трафика в сети передачи данных, особенности потокового, интерактивного и фонового трафика.

2. Изучить основные характеристики и параметры трафика.

3. Изучить основные показатели качества функционирования сетей передачи данных (задержка доставки пакета, джиттер, коэффициент потерь, коэффициент ошибок, методы оценки, существующие требования и нормативные значения, рекомендации ITU-T и нормативные отраслевые документы).

4. Изучить математические модели, применяемые для расчета параметров сетей передачи данных (модель простейшего потока и системы с отказами, модели M/M/1, M/D/1, M/G/1, G/G/1, применение для расчета необходимой пропускной способности).

3.3 Задание на самостоятельную работу

1. Изучить основные свойства трафика в сети передачи данных, особенности потокового, интерактивного и фонового трафика.

2. Изучить основные характеристики и параметры трафика.

3. Изучить основные показатели качества функционирования сетей передачи данных (задержка доставки пакета, джиттер, коэффициент

потерь, коэффициент ошибок, методы оценки, существующие требования и нормативные значения, рекомендации ITU-T и нормативные отраслевые документы).

4. Изучить математические модели, применяемые для расчета параметров сетей передачи данных (модель простейшего потока и системы с отказами, модели M/M/1, M/D/1, M/G/1, G/G/1, применение для расчета необходимой пропускной способности).

3.4 Задание на лабораторную работу

1. Анализ задания, формирование перечня исходных данных и требований.

2. Выполнить расчет интенсивности трафика для заданной услуги (набора услуг).

3. Выполнить выбор модели трафика, оценка параметров трафика.

4. Выполнить расчет интенсивности потоков данных в линии связи.

5. Выполнить расчет требуемых пропускных способностей для линий связи.

3.5 Содержание отчета

1. Исходные данные.

2. Оценка интенсивности производимого трафика.

3. Расчет интенсивности трафика в сети передачи данных.

4. Расчет пропускной способности канала.

5. Результаты расчета.

3.6 Контрольные вопросы

1. Особенность потокового, интерактивного и фоновое трафика.

2. Основные параметры трафика, влияющие на качество обслуживания.

3. Математические модели системы обслуживания.

4. Выбор математической модели на основе свойств трафика и процесса обслуживания.

5. Основные параметры качества функционирования сети связи.

6. Оценка параметров качества функционирования с помощью математических моделей системы обслуживания.

Пример оформления отчета по работе приведен в Приложении 6.

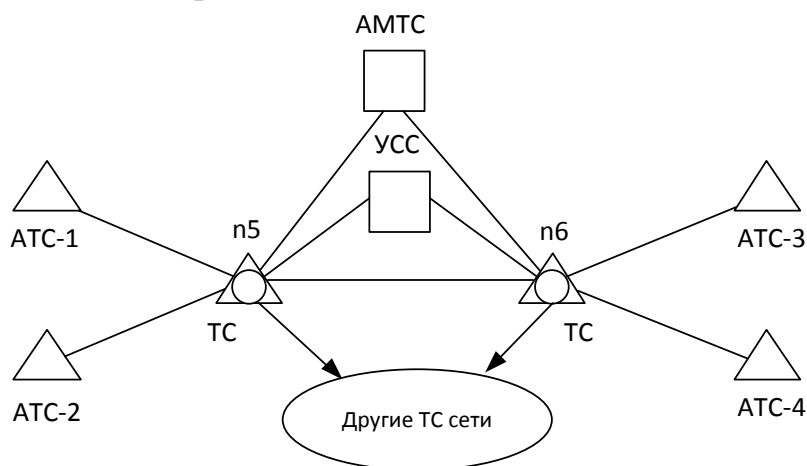
Приложения

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Варианты заданий на лабораторную работу №1

1 Структура сети

Общая для всех вариантов



2 Количество абонентов АТС

№ Варианта	Число абонентов			
	АТС-1	АТС-2	АТС-3	АТС-4
1	1000	2000	10000	5000
2	500	15000	8000	14000
3	5000	2000	6000	3000
4	12000	4000	6000	2000
5	8000	8000	4000	1000
6	16000	4000	12000	3000
7	800	3000	3500	7500
8	10000	4500	900	5500
9	4000	4500	8500	10000
10	3000	7000	6500	600

3 Параметры абонентского трафика

№ Варианта	Удельная аб. нагрузка, Эрл	Доля мг. и мн. трафика, %	Доля трафика УСС, %
1	0,10	10,0	1,0
2	0,10	11,0	2,0
3	0,10	12,0	1,0
4	0,08	13,0	2,0
5	0,08	14,0	1,0
6	0,08	15,0	2,0
7	0,12	9,0	1,0
8	0,12	8,0	2,0
9	0,12	7,0	1,0
10	0,12	6,0	2,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики

Лабораторная работа №1 по курсу «Проектирование телекоммуникационных систем и сетей»

Расчет сети телефонной связи

(пример отчета по лабораторной работе №1)

Группа:

Студент: Фамилия И.О.

Вариант:

1 Исходные данные и требования

Таблица 1 – Абонентская емкость и параметры трафика

Параметр	Ед.изм.	Значение
Общее число абонентов сети	шт.	100000
Число абонентов АТС-1	шт.	2000
Число абонентов АТС-2	шт.	5000
Число абонентов АТС-3	шт.	20000
Число абонентов АТС-4	шт.	10000
Удельная абонентская нагрузка	Эрл	0,1
Доля мг. и мн. нагрузки	%	15
Доля нагрузки на УСС	%	1

Таблица 2 – Требования к качеству обслуживания

Параметр	Ед.изм.	Значение
Требования к коэфф. потерь местн. св.	%	2
Требования к коэфф. потерь до АМТС	%	2
Требования к коэфф. потерь УСС	%	0,1

Структура сети связи представлена на рисунке 1.

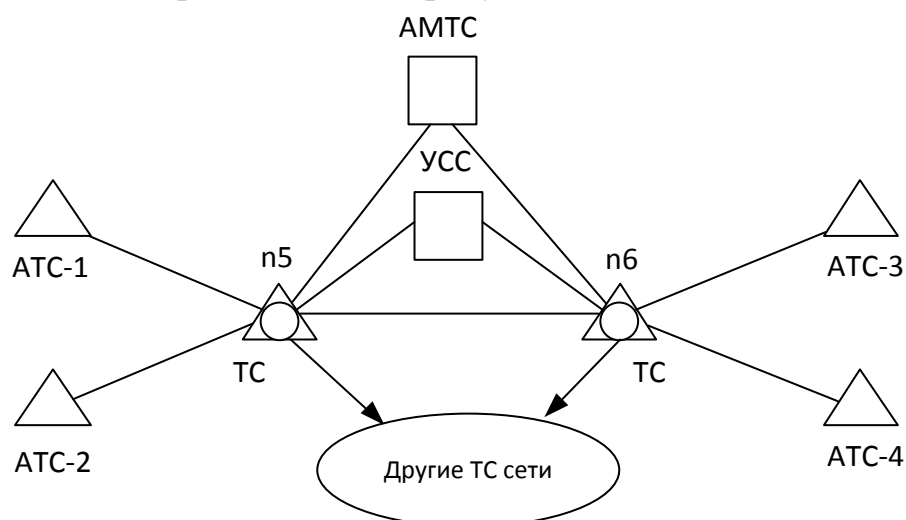


Рис. 1 – Структура сети связи

2 Модель сети

Для упрощения записи результатов расчета введем условные обозначения для элементов проектируемой сети и трафика между элементами сети. Опишем структуру сети неориентированным графом, в котором будем рассматривать все АТС, ТС, АМТС, УСС как вершины графа, а линии связи между ними - как ребра графа. Каждому ребру графа припишем число $y_{i,j}$, равное интенсивности нагрузки (Эрл) между соответствующими узлами сети (рисунок 2).

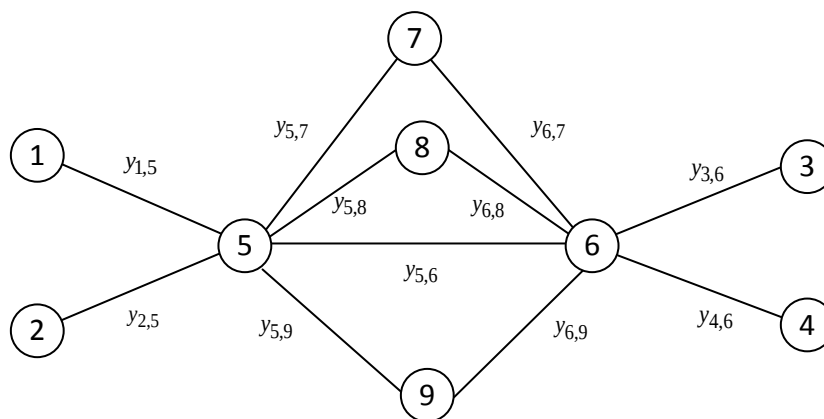


Рис. 2 – Модель сети в виде неориентированного графа

3 Трафик, производимый в узлах связи

Интенсивность исходящего трафика, производимого абонентами АТС, может быть вычислена как

$$y_i = \frac{1}{2} n_i y_0 \text{ Эрл,} \quad (1)$$

где n_i - количество абонентов i -й АТС;

y_0 - интенсивность удельной абонентской нагрузки (суммарной)

Эрл.

Результаты интенсивности исходящего трафика приведем в таблице 2.1.

Таблица 3 - Интенсивности исходящего трафика АТС

АТС	Вершина графа	Интенсивность нагрузки, Эрл
АТС-1	1	100
АТС-2	2	250
АТС-3	3	1000
АТС-4	4	500

4 Коэффициенты распределения трафика

Трафик, производимый абонентами i -й АТС, распределяется по следующим направлениям сети связи:

1. АТС $_i$ – АТС $_i$ – внутренний трафик.
2. АТС $_i$ – АТС $_j$ – трафик к абонентам АТС $_j$ проектируемой сети.
3. АТС $_i$ – УСС - трафик к узлу спецслужб.
4. АТС $_i$ – АМТС – междугородный и международный трафик.
5. АТС $_i$ – СС - трафик к абонентам существующей сети связи.

Коэффициент распределения трафика – доля трафика в направлении связи

$$k_{i,j} = \frac{y_{i,j}}{y_i}.$$

Полагаем, что доля трафика пропорциональна числу абонентов АТС, тогда

$$k_{i,j} = \frac{n_j}{n_0}, \quad (2)$$

где n_j - количество абонентов j -й АТС;

n_0 - общее количество абонентов сети.

Тогда, коэффициенты распределения трафика между АТС проектируемой сети будут равны:

$$k_{1,1} = k_{2,1} = k_{3,1} = k_{4,1} = 0,02;$$

$$k_{2,2} = k_{1,2} = k_{3,2} = k_{4,2} = 0,05;$$

$$k_{3,3} = k_{1,3} = k_{2,3} = k_{4,3} = 0,2;$$

$$k_{4,4} = k_{1,4} = k_{2,4} = k_{3,4} = 0,1.$$

Кроме этого в задании заданы коэффициенты распределения трафика на АМТС и УСС, которые не зависят от количества абонентов:

$$k_{AMTC} = 0,15;$$

$$k_{УСС} = 0,01.$$

5 Распределение трафика по линиям связи

В проектируемой сети имеются 11 линий связи между элементами сети (рисунок 2).

Интенсивности трафика на линиях связи между АТС и ТС:

$$y_{1,5} = y_1(1 - k_{1,1}) = 100(1 - 0,02) = 98,0 \text{ Эрл};$$

$$y_{2,5} = y_2(1 - k_{2,2}) = 250(1 - 0,05) = 237,5 \text{ Эрл};$$

$$y_{3,6} = y_3(1 - k_{3,3}) = 1000(1 - 0,2) = 800,0 \text{ Эрл};$$

$$y_{4,6} = y_4(1 - k_{4,4}) = 500(1 - 0,1) = 450,0 \text{ Эрл}.$$

Интенсивности трафика на линиях связи между ТС и АМТС:

$$y_{5,7} = (y_{1,5} + y_{2,5})k_{AMTC} = (98,0 + 237,5)0,15 = 50,3 \text{ Эрл};$$

$$y_{6,7} = (y_{3,6} + y_{4,6})k_{AMTC} = (800,0 + 450,0)0,15 = 187,5 \text{ Эрл}.$$

Интенсивности трафика на линиях связи между ТС и УСС:

$$y_{5,8} = (y_{1,5} + y_{2,5})k_{УСС} = (98,0 + 237,5)0,01 = 3,4 \text{ Эрл};$$

$$y_{6,8} = (y_{3,6} + y_{4,6})k_{УСС} = (800,0 + 450,0)0,01 = 12,5 \text{ Эрл}.$$

Интенсивности трафика на линиях связи с существующей сетью:

$$y_{5,9} = y_{1,5}k_{1,9} + y_{2,5}k_{2,9} = 98,0 \cdot 0,63 + 237,5 \cdot 0,63 = 211,4 \text{ Эрл};$$

$$y_{6,9} = y_{3,6}k_{3,9} + y_{4,6}k_{4,9} = 787,5 \text{ Эрл.}$$

Интенсивности трафика на линиях связи между ТС:

$$y_{5,6} = y_{1,5} + y_{2,5} - y_{5,7} - y_{5,8} - y_{5,9} = 98,0 + 237,0 - 50,3 - 3,4 - 211,4 = 70,4 \text{ Эрл.}$$

6 Расчет количества линий (каналов) связи

Количество каналов определяем исходя из заданного норматива потерь вызовов.

Наиболее жесткое требование к вероятности потерь в направлении УСС ($p < 0,1\%$). Потери на данном участке определяются потерями на участке АТС-ТС и участке ТС-УСС.

При достаточно малой величине потерь, потери между АТС и УСС можно оценить как

$$P_{АТС,УСС} \approx P_{АТС,ТС} + U_{ТС,УСС}.$$

Выберем значения

$$P_{АТС,ТС} \leq 0,008;$$

$$P_{ТС,УСС} \leq 0,002$$

Используя 1-ю формулу Эрланга получаем:

Таблица 4 – Результаты расчета числа каналов в сети связи

	Участок сети	Интенсивность нагрузки Эрл	Потери	Число каналов
1	АТС-1 - ТС	98,0	0,0008	127
2	АТС-2 - ТС	237,5	0,0008	279
3	АТС-3 - ТС	800,0	0,0008	869
4	АТС-4 - ТС	450,0	0,0008	504
5	ТС-1 - УСС	3,4	0,0002	12
6	ТС-2 - УСС	12,5	0,0002	27
7	ТС-1 - АМТС	50,3	0,01	64
8	ТС-2 - АМТС	187,5	0,01	209
9	ТС -1 – СС	211,4	0,01	233
10	ТС - 2 - СС	787,5	0,01	816
11	ТС – 1 – ТС -2	70,4	0,01	86

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Варианты заданий на лабораторную работу №2

Требуется произвести оценку параметров трафика (интенсивности пакетов, среднего размера пакета и интенсивности трафика на уровне пользователя) при предоставлении услуги связи.

Исходные данные

№ Варианта	Услуга	Адрес
1	видео	www.youtube.com
2	видео	1tv.ru
3	видео	http://live.russia.tv/
4	аудио	http://www.radiorus.ru/
5	аудио	https://radio.yandex.ru/
6	аудио	http://maximum.ru/online/maximum
7		
8		
9		
10		

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики

Лабораторная работа №2 по курсу «Проектирование телекоммуникационных систем и сетей»

Анализ параметров трафика сети передачи данных

(пример отчета по лабораторной работе №2)

Группа:

Студент: Фамилия И.О.

Вариант:

1 Описание модельной сети и условий проведение измерений

1.1 Точка регистрации трафика

В данном исследовании выполняется анализ клиентского трафика на интерфейсе «пользователь – сеть». Модельная сеть представляет собой компьютер, включенный в локальную сеть передачи данных и имеющий доступ к сети Интернет, либо непосредственно включенный в сеть провайдера услуг доступа в Интернет.

1.2 Средства измерений

Для измерений параметров трафика используется свободно распространяемое программное обеспечение Wireshark.

1.3 Подготовка к проведению измерений

Скачать с сайта <https://www.wireshark.org/download.html> и установить, если ранее не было установлено, программное обеспечение Wireshark.

1.4 Выбор услуги

Анализ трафика выполняется для услуги потокового видео. Услуга предоставляется в сети Интернет, адрес сайта 1tv.ru.

2 Проведение измерений и подготовка данных

2.1 Открываем в браузере указанный сайт и выбираем онлайн трансляцию. В окне браузера отображается видео трансляции.

Запускаем Wireshark и выбираем локальную сеть (Ethernet карту), запускаем захват пакетов.

Наблюдаем в окне Wireshark непрерывно пополняемый список пакетов регистрируемых на выбранном интерфейсе (рисунок 1).

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000000	37.29.0.37	192.168.1.154	TCP	1514	80->56461 [ACK] Seq=1 Ack=1 win=672 Len=1460
2	0.000056000	192.168.1.154	37.29.0.37	TCP	54	56461->80 [ACK] Seq=1 Ack=1461 win=65335 Len=0
3	0.000066000	37.29.0.37	192.168.1.154	TCP	1514	80->56461 [ACK] Seq=1461 Ack=1 win=672 Len=1460
4	0.000919000	37.29.0.37	192.168.1.154	TCP	1514	80->56461 [ACK] Seq=2921 Ack=1 win=672 Len=1460
5	0.000024000	192.168.1.154	37.29.0.37	TCP	54	56461->80 [ACK] Seq=1 Ack=4381 win=65335 Len=0
6	0.000138000	37.29.0.37	192.168.1.154	TCP	1514	80->56461 [ACK] Seq=4381 Ack=1 win=672 Len=1460
7	0.001861000	37.29.0.37	192.168.1.154	TCP	1514	80->56461 [ACK] Seq=5841 Ack=1 win=672 Len=1460
8	0.000035000	192.168.1.154	37.29.0.37	TCP	54	56461->80 [ACK] Seq=1 Ack=7301 win=65335 Len=0
9	0.000265000	37.29.0.37	192.168.1.154	TCP	1514	80->56461 [ACK] Seq=7301 Ack=1 win=672 Len=1460
10	0.000335000	37.29.0.37	192.168.1.154	TCP	1514	80->56461 [ACK] Seq=8761 Ack=1 win=672 Len=1460
11	0.000027000	192.168.1.154	37.29.0.37	TCP	54	56461->80 [ACK] Seq=1 Ack=10221 win=65335 Len=0
12	0.000137000	37.29.0.37	192.168.1.154	TCP	1514	80->56461 [ACK] Seq=10221 Ack=1 win=672 Len=1460
13	0.001311000	37.29.0.37	192.168.1.154	TCP	1514	80->56461 [ACK] Seq=11681 Ack=1 win=672 Len=1460
14	0.000030000	192.168.1.154	37.29.0.37	TCP	54	56461->80 [ACK] Seq=1 Ack=13141 win=65335 Len=0
15	0.000284000	37.29.0.37	192.168.1.154	TCP	1514	80->56461 [ACK] Seq=13141 Ack=1 win=672 Len=1460
16	0.000243000	37.29.0.37	192.168.1.154	TCP	1514	80->56461 [ACK] Seq=14601 Ack=1 win=672 Len=1460

Рис. 1 – Результат регистрации потока пакетов

Продолжаем процесс, пока число захваченных пакетов не достигнет ориентировочно 20 000, после чего останавливаем процесс захвата пакетов.

Полученные данные, при необходимости, можно сохранить в файл для дальнейшей обработки.

2.2 Подготовка данных для анализа распределения

Среди захваченных пакетов выделяем пакеты потока видео. Для этого находим среди них IP адрес источника пакетов.

Введя в поле «Filter» строку `ip.src==XX.XX.XX.XX`, где XX.XX.XX.XX IP адрес источника и нажав Enter отфильтровываем только пакеты, поступившие от выбранного источника (рисунок 2).

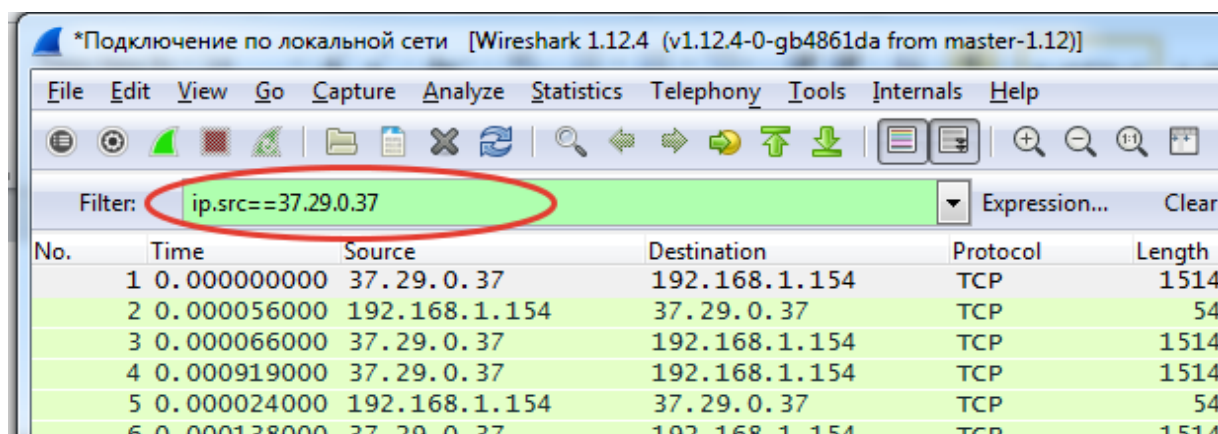
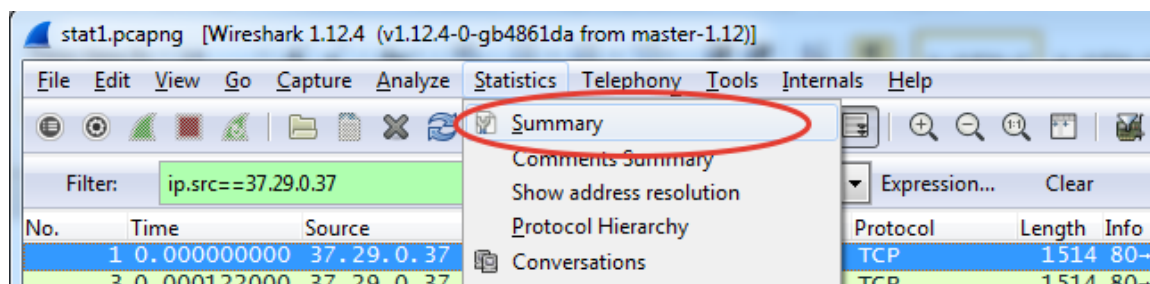


Рис. 2 – Фильтрация потока

3 Оценка параметров трафика

В меню Wireshark выбираем пункт Statistics->Summary (рисунок 3). В открывшемся окне находим такие параметры как: интенсивность пакетов (среднее число пакетов в секунду), средний размер пакета, интенсивность трафика (Мбит/с).

Согласно данным программы, интенсивность пакетов $\lambda=85,464$ пакета/с, средний размер пакета $L=1494$ байта, интенсивность трафика $a=1,022$ Мбит/с.



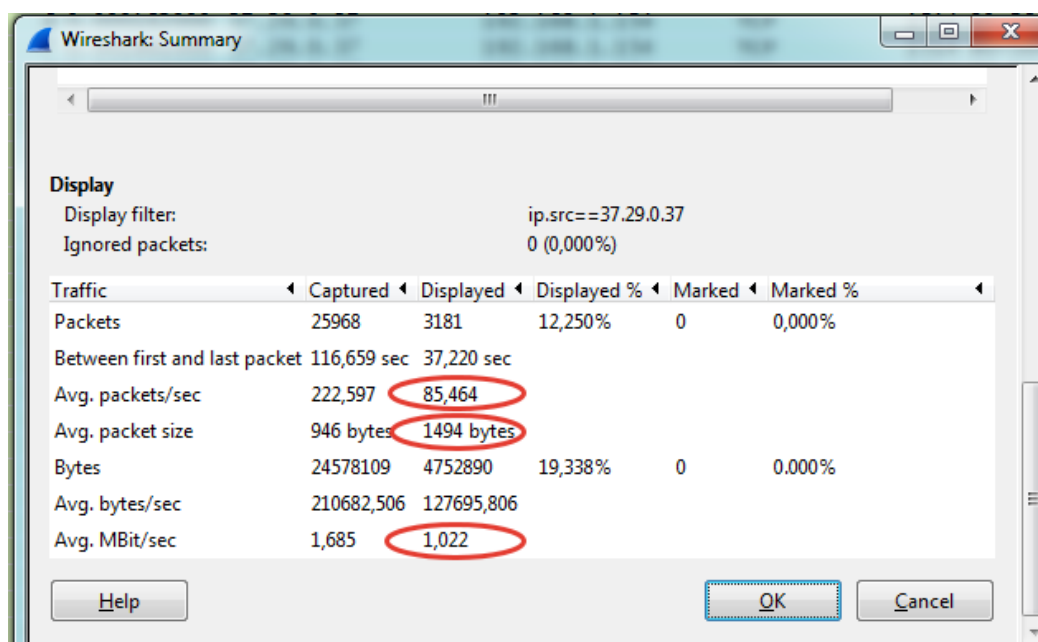


Рис. 3 – Выбор оценок параметров трафика

4 Доверительные интервалы для полученных оценок

4.1 Доверительный интервал для интенсивности пакетов

Выберем меню Statistics->IO Graph. В поле «Filter» вводим IP адрес источника пакетов и нажимаем Enter. Проверяем значения в полях, выделенных на рисунке 4.

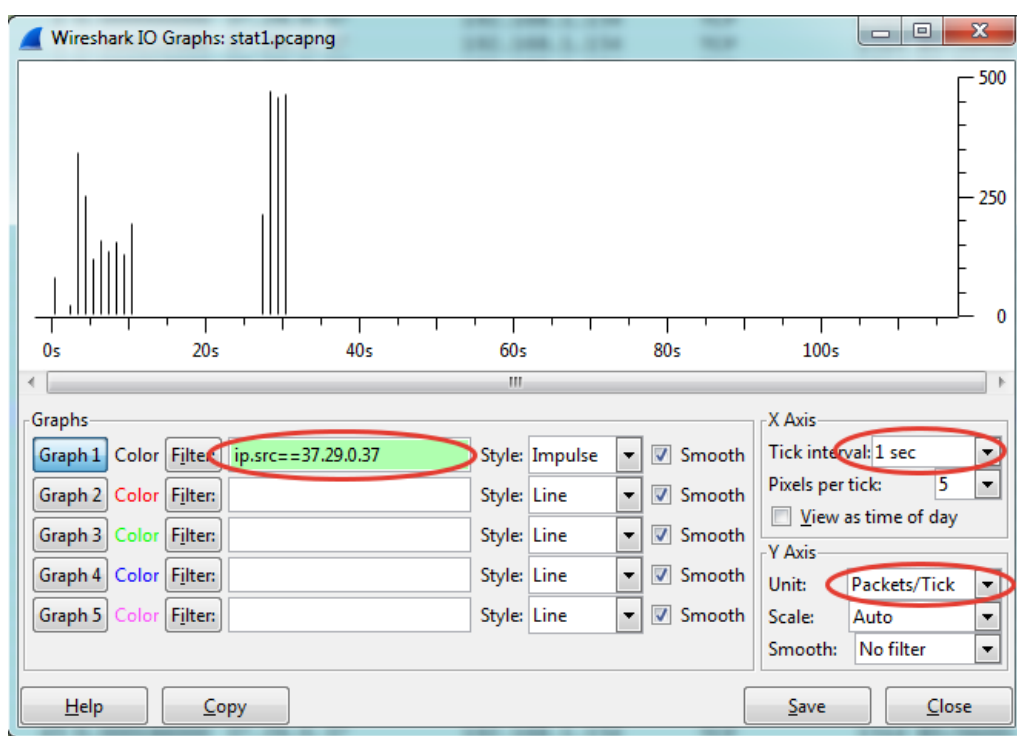
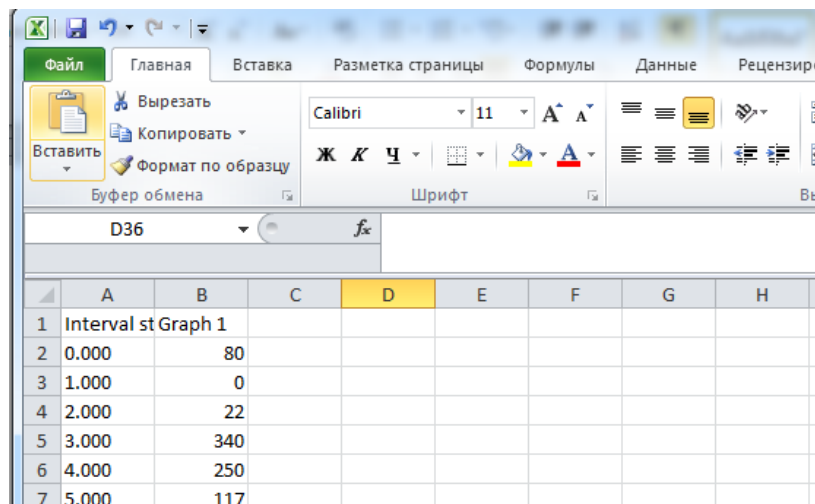


Рис. 4 – Получение значений за секундные интервалы

Нажимаем кнопку «Сору». Открываем табличный процессор (в данном примере MS Excel) и вставляем данные через «мастер вставки», как текст с разделителями, выбрав в качестве разделителя запятую. В результате получаем таблицу, приведенную на рисунке 5.

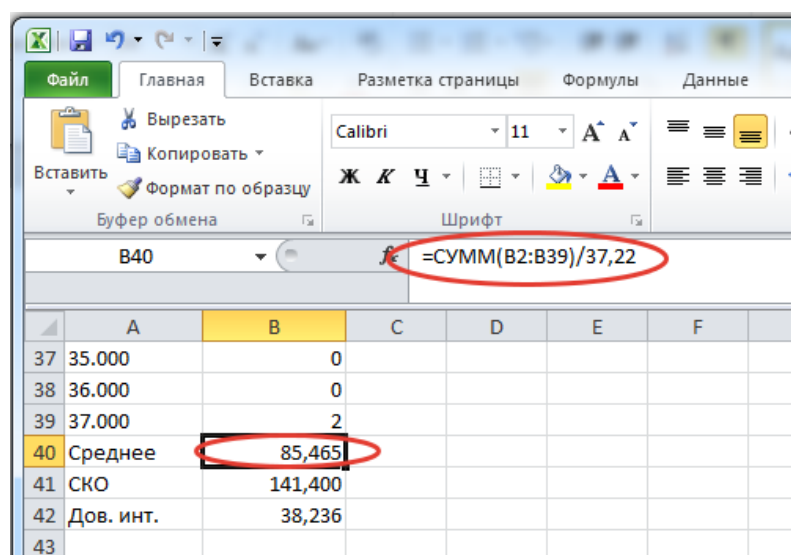


	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Interval st Graph 1							
2	0.000	80						
3	1.000	0						
4	2.000	22						
5	3.000	340						
6	4.000	250						
7	5.000	117						

Рис. 5 – Экспорт данных в табличный процессор

В таблице число строк равно числу секунд. В первом столбце номер секунды, а во втором столбце число зарегистрированных пакетов.

Для проверки своих действий вычислим интенсивность пакетов, просуммировав число пакетов во втором столбце и разделив его на время регистрации пакетов (рисунок 3 – 37,220 с), рисунок 6.



	A	B	C	D	E	F	G
37	35.000	0					
38	36.000	0					
39	37.000	2					
40	Среднее	85,465					
41	СКО	141,400					
42	Дов. инт.	38,236					
43							

Рис. 6 - Вычисление среднего значения

В результате получили 85,465 (на рисунке 3 – 85,464). Разница результатов в 0,001 обусловлена операциями округления, будем считать ее незначительной.

Далее для данного столбца вычислим среднеквадратическое отклонение (СКО) и полуширину доверительного интервала, рисунок 7.

	A	B	C	D	E	F
37	35.000	0				
38	36.000	0				
39	37.000	2				
40	Среднее	85,465				
41	СКО	141,400				
42	Дов. инт.	38,236				

	A	B	C	D	E	F
37	35.000	0				
38	36.000	0				
39	37.000	2				
40	Среднее	85,465				
41	СКО	141,400				
42	Дов. инт.	38,236				

Рис. 7 - Вычисление доверительного интервала для интенсивности пакетов

При вычислении доверительного интервала выберем доверительную вероятность 0,9.

Таким образом, результат оценки интенсивности пакетов можно записать как

$$\lambda = 85 \pm 38 \text{ пакетов/с.}$$

Как видим, относительная погрешность полученной оценки составляет около 45%.

Примечание. Если в задании требуется более высокая точность, то следует увеличить объем выборки, продолжив измерения. Необходимый объем выборки можно будет определить как

$$N = \left(g_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\bar{\lambda} \delta_0} \right)^2.$$

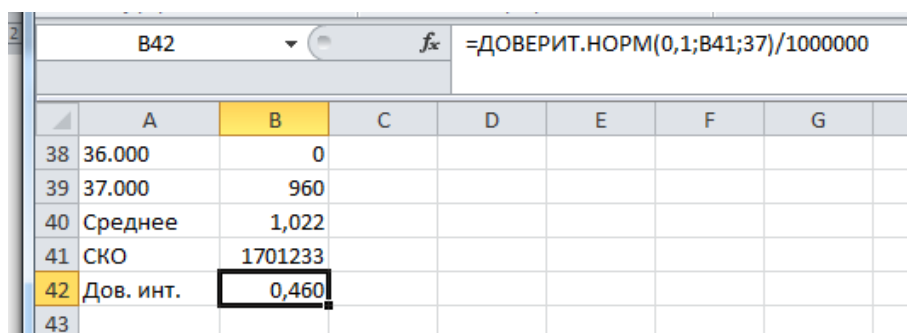
Например, при допустимой относительной погрешности $\delta_0 = 0,1$ (10%) и доверительной вероятности 0,9 требуемое количество измерений составит

$$N = 1,64 \frac{141,400}{38,236 \cdot 0,1} \approx 3678.$$

4.2 Доверительный интервал для интенсивности трафика

Доверительный интервал для интенсивности трафика вычисляется аналогичным образом с той разницей, что в начале (рисунок 5) в поле «Unit» выбирается «Bits/Tick».

Последующие операции аналогичны приведенным выше. В результате получаем (рисунок 8).



	B42		$f_x = \text{ДОВЕРИТ.НОРМ}(0,1;B41;37)/1000000$				
	A	B	C	D	E	F	G
38	36.000	0					
39	37.000	960					
40	Среднее	1,022					
41	СКО	1701233					
42	Дов. инт.	0,460					
43							

Рис. 8 - Вычисление доверительного интервала для интенсивности трафика

Таким образом, результат оценки интенсивности трафика можно записать как

$$a = 1,00 \pm 0,46 \text{ Мбит/с.}$$

При доверительной вероятности 0,9.

4.3 Доверительный интервал для размера пакета

Из основного окна Wireshark сохраняем отфильтрованные пакеты в файл, рисунок 9.

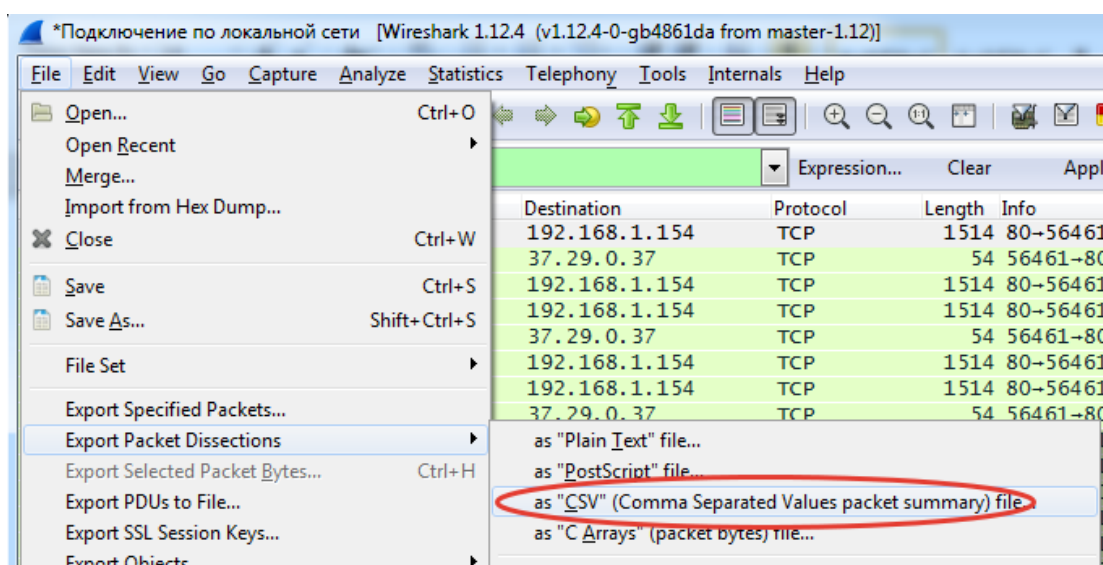


Рис. 9 – Сохранение данных в текстовый файл

Открываем сохраненный файл из текстового процессора (в данном примере Excel) с использованием мастера импорта, в результате чего получаем таблицу, рисунок 10.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info					
2	1	0.0000000	37.29.0.37	192.168.1.1	TCP	1514	80 > 56461 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=672 Len=1460					
3	3	0.0001220	37.29.0.37	192.168.1.1	TCP	1514	80 > 56461 [ACK] Seq=1461 Ack=1 Win=672 Len=1460					
4	4	0.0009190	37.29.0.37	192.168.1.1	TCP	1514	80 > 56461 [ACK] Seq=2921 Ack=1 Win=672 Len=1460					
5	6	0.0001620	37.29.0.37	192.168.1.1	TCP	1514	80 > 56461 [ACK] Seq=4381 Ack=1 Win=672 Len=1460					
6	7	0.0018610	37.29.0.37	192.168.1.1	TCP	1514	80 > 56461 [ACK] Seq=5841 Ack=1 Win=672 Len=1460					

Рис. 10 – Результат экспорта данных

Удаляем лишние столбцы, оставляя только «Time» и «Length».

Для столбца «Length» вычисляем среднее значение, СКО и доверительный интервал, как это было сделано ранее. Результаты оценки приведены на рисунке 11.

	A	B	C	D	E	F
3181	6.677782000	60				
3182	0.111115000	60				
3183	Среднее	1494				
3184	СКО	158				
3185	Дов. инт.	5				
3186						
3187						

Рис. 11 – Результат оценки

Таким образом, результат оценки среднего размера пакета можно записать как

$$L = 1494 \pm 5 \text{ байт.}$$

Как видим, относительная погрешность полученной оценки составляет около 0,3%.

5 Результаты оценки параметров трафика

№	Параметр	Ед. измерения	Значение
1	Интенсивность пакетов	пакетов/с	85 ± 38
2	Интенсивность трафика	Мбит/с	$1,00 \pm 0,46$
3	Размер пакета	байт	1494 ± 5

Характеристики эксперимента

№	Параметр	Ед. измерения	Значение
1	Продолжительность	с	37,220
2	Число пакетов	шт.	3181

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Варианты заданий на лабораторную работу №3

В узел доступа к сети оператора связи включены абоненты, которым предоставляется услуга телефонной связи (VoIP). При предоставлении услуги используется кодек G.711, для связи с узлом оператора используется технология Ethernet.

Параметры кодека:

- скорость кодирования 64 Кбит/с;
- длина пакета данных 200 байт;
- скорость потока в линии Ethernet 85,6 Кбит/с.

Требуется оценить необходимую пропускную способность линии связи между узлом доступа и узлом оператора связи, при которой выполняются требования к качеству обслуживания.

(При расчете задержки принять модель М/М/1).

Исходные данные

№ Варианта	Количество абонентов VoIP	Удельная интенс. абоненткой нагрузки, Эрл	Требования к потерям, %	Требования к задержке, мс
1	1000	0,15	<0,1	<10
2	2000	0,12	<2,0	<20
3	4000	0,10	<1,5	<15
4	4500	0,13	<3,0	<25
5	2500	0,14	<3,5	<22
6	3000	0,08	<4,0	<24
7	7000	0,09	<2,5	<18
8	6500	0,07	<1,5	<12
9	8000	0,05	<0,5	<28
10	7500	0,06	<0,7	<16

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики

Лабораторная работа №3 по курсу «Проектирование телекоммуникационных систем и сетей»

Расчет сети передачи данных

(пример отчета по лабораторной работе №3)

Группа:

Студент: Фамилия И.О.

Вариант:

1 Исходные данные

№	Параметр	Ед. измерения	Значение
1	Количество абонентов	шт.	3700
2	Интенсивность удельной абонентской нагрузки	Эрл	0,10
3	Тип кодека	-	G.711
4	Скорость кодирования	Кбит/с	64
	Скорость в канале	Кбит/с	85,6
	Длина пакета	байт	200
6	Требование к потерям	%	≤2
6	Требование к задержке	мс	≤5

2 Оценка интенсивности производимого трафика

Интенсивность трафика, производимого абонентами VoIP, оценивается на основе данных об удельной абонентской нагрузке и количестве абонентов

$$y = n \cdot y_0 \text{ Эрл,}$$

где n – количество абонентов;

y_0 – интенсивность удельной абонентской нагрузки (Эрл).

На основе исходных данных получаем

$$y = 3700 \cdot 0,1 = 370 \text{ Эрл.}$$

3 Расчет интенсивности трафика в сети передачи данных

В задании приведено требование к вероятности потерь, которые не должны превышать 2%.

Вероятность потерь в данном случае следует рассматривать, как вероятность того, что количество потоков VoIP, превысит значение, на которое рассчитана сеть передачи данных. Таким образом, для заданных интенсивности нагрузки и вероятности потерь, используя 1-ю формулу Эрланга, оценим количество потоков VoIP, которое должна обслуживать проектируемая сеть

$$p(y, v) = \frac{\frac{y^v}{v!}}{\sum_{j=0}^v \frac{y^j}{j!}},$$

где y – интенсивность абонентской нагрузки (Эрл);

v – количество потоков VoIP.

Формально, нахождение количества потоков можно записать как

$$v = \arg \min_v (p_0 - p(v, y)), \quad p(v, y) \leq p_0$$

где p_0 - заданная норма потерь.

Фактически это означает отыскание минимального значения v , при котором вероятность потерь не превышает заданную норму.

На основе исходных данных получаем

$$v = \arg \min_v (0,02 - p(v, 370)) = 385.$$

Интенсивность трафика в сети передачи данных определяется как

$$a = v \cdot a_0 \text{ бит/с},$$

где a_0 - битовая скорость передачи данных в канале для используемого кодека (бит/с).

Для данных задания получаем

$$a = 385 \cdot 85,6 = 32,956 \text{ Мбит/с}.$$

4 Расчет пропускной способности канала

Согласно заданию модель узла может быть описана как СМО М/М/1, тогда время доставки пакета может быть определено как

$$T = \frac{\bar{t}}{1 - \lambda \bar{t}} \text{ с},$$

где λ - интенсивность пакетов (пакетов/с);

$\bar{t}$ - среднее время передачи пакета по линии связи.

Выразим время доставки через интенсивность трафика a и длину пакетов l , и пропускную способность канала b

$$\lambda = a / l \text{ пакетов/с},$$

где l – длина пакета (бит) и

$$\bar{t} = \frac{l}{b}$$

где b – пропускная способность канала (бит/с).

Подставляя два последних выражения в формулу для времени доставки получим

$$b = a + \frac{l}{T} \text{ бит/с}.$$

Подставляем в последнее выражение полученное значение интенсивности трафика a и заданный норматив на задержку доставки пакета получим

$$b = 32,956 \cdot 10^6 + \frac{200 \cdot 8}{5 \cdot 10^{-3}} = 33276000 \quad \text{бит/с} = 33,276 \text{ Мбит/с.}$$

5 Результаты расчета

Результаты расчета сведены в таблицу

№	Результат	Ед. измерения	Значение
1	Интенсивность аб. нагрузки	Эрл	370
2	Число потоков VoIP	шт.	385
3	Интенсивность пакетов	пакетов/с	20597,5
4	Интенсивность трафика	Мбит/с	32,956
5	Пропускная способность	Мбит/с	33,276

В результате расчета получено значение пропускной способности канала, при которой выполняются требования к качеству обслуживания.

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ:

http://www.ifmo.ru/ru/viewdepartment/370/kafedra_vysokoproizvoditelnyh_telekommunikacionnyh_setey_bazovaya.htm

Кафедра высокопроизводительные телекоммуникационные сети (ВПТС) является базовой кафедрой при АО «НИИ «Масштаб» и входит в состав факультета Компьютерных технологий и управления Университета ИТМО.

Кафедра ВПТС организована в соответствии с приказом ректора Университета ИТМО № 288-од от 15.05.2014г. во исполнение решения Учёного совета университета от 26.02.2014г. о том, что АО «НИИ «Масштаб» удовлетворяет критериям отбора высокотехнологичных компаний, претендующих на открытие базовой магистерской кафедры в Университете ИТМО.

Университет с участием специалистов АО «НИИ «Масштаб» осуществляет целевую подготовку аспирантов и магистров факультета компьютерных технологий и управления Университет ИТМО. В учебном процессе используются лаборатории университета и предприятия. Аспиранты и магистры приглашаются к участию в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, выполняемых АО «НИИ «Масштаб».

Цели создания БМК ВПТС:

- интеграция образования, науки и бизнеса по приоритетным направлениям развития технологических платформ Российской Федерации;
- создание инновационной среды для эффективной совместной (АО «НИИ «Масштаб» и Университет ИТМО) научно-педагогической деятельности ;
- реализация сетевых образовательных магистерских и аспирантских программ, а также программ дополнительного профессионального образования по заказу бизнес-сообщества.
- целевая подготовка специалистов для дальнейшей работы на предприятии.

Выпускники кафедры обладают компетенциями:

- знаниями основ философии и методологии науки и методы научных исследований, методов проектирования распределенных информационных систем, их компонентов и протоколов их взаимодействия, знанием технических характеристик телекоммуникационных систем, нормативных требований по защите информации;
- умением: формулировать цели и задачи исследования, действовать в нестандартных ситуациях, проектировать системы с параллельной обработкой данных и высокопроизводительные системы, и их компоненты, оценивать технические возможности и вырабатывать рекомендации по построению систем и сетей передачи, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы;
- владением: способностью к саморазвитию и самореализации, способностью к абстрактному мышлению обобщению, анализу, систематизации и прогнозированию, методами постановки научных экспериментов, способностью проектировать телекоммуникационные системы и проводить анализ проектных решений по обеспечению безопасности телекоммуникационных систем, иностранным языком в научной и деловой сфере, способность производить оценку технических характеристик телекоммуникационных систем.

Трудоустройство выпускников кафедры возможно на любых предприятиях, занимающееся разработками в сфере телекоммуникаций.

Студенты могут проходить практику в компаниях, занимающихся разработками в сфере телекоммуникаций, в Санкт-Петербурге (в частности, в АО «НИИ «Масштаб») и зарубежных вузах.

Мы готовим квалифицированных магистров в области инфокоммуникационных технологий с новыми знаниями, образом мышления и способностями быстрой адаптации к современным условиям труда.

Давыдов А.Е., Смирнов П.И., Парамонов А.И.

**Проектирование телекоммуникационных систем и
сетей**

**Раздел Лабораторные исследования сетей связи и
передачи данных**

Учебное пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49