

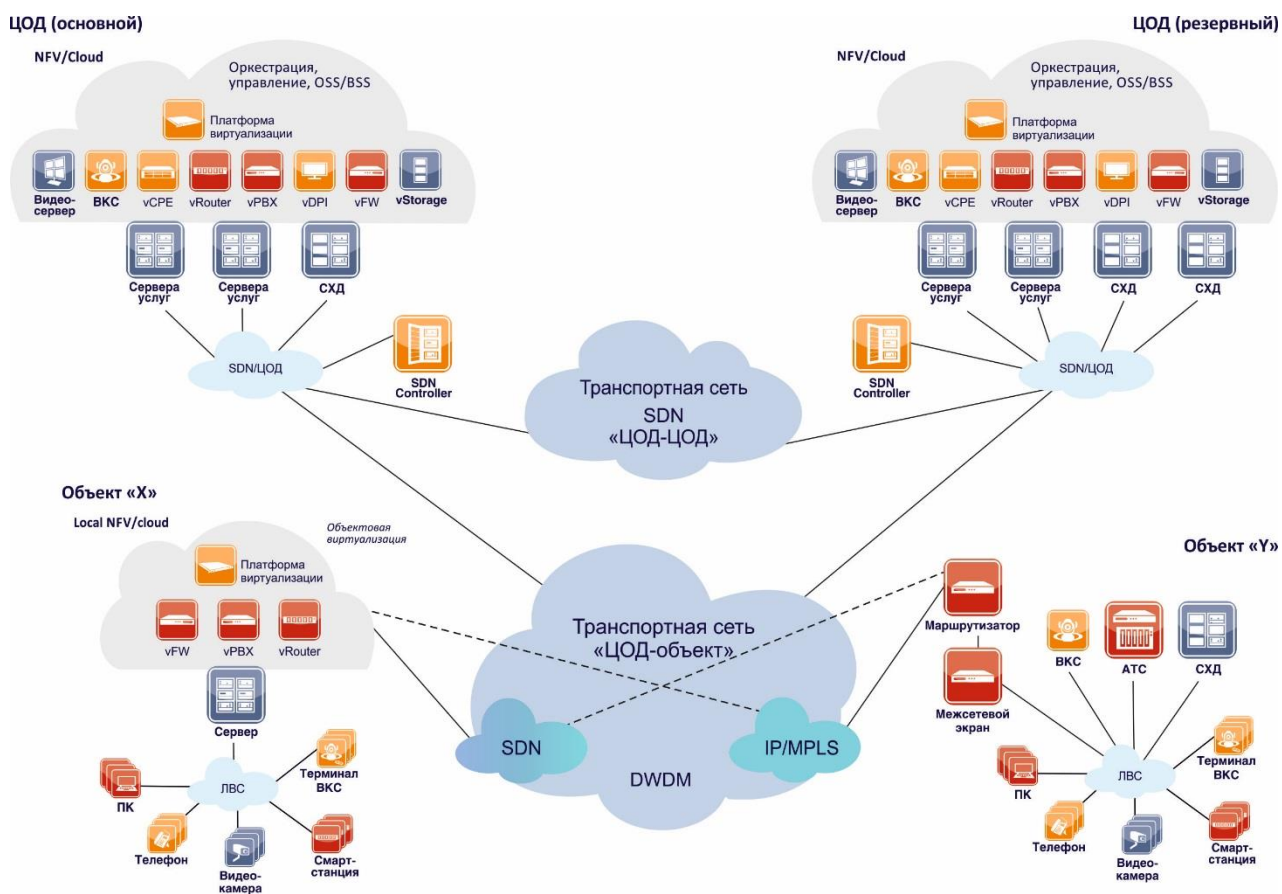


Давыдов Е.Б., Парамонов А.И., Шапаренко Ю.М.

Проектирование телекоммуникационных систем и сетей

Курсовые работы

Учебно-методическое пособие



Санкт-Петербург
Университет ИТМО

УДК 621.391 + 004.7

Е.Б. Давыдов, А.И. Парамонов, Ю.М. Шапаренко. Проектирование телекоммуникационных систем и сетей. Курсовые работы. – СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 28 с.

В пособии рассматриваются вопросы применения теоретических основ в практических методах проектирования телекоммуникационных сетей. Даны краткие указания к курсовым работам по дисциплине в части расчетов параметров сетей связи и анализа трафика, овладение которыми будет полезно студентам-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_ ноября 2016г.

Рецензент: профессор, д.т.н. Кучерявый А.Е., зав кафедрой сетей связи и передачи данных СПб ГУТ 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, 2017

© Е.Б. Давыдов, А.И. Парамонов, Ю.М. Шапаренко, 2017

Содержание

Введение.....	4
1 Цель работы и изучаемые вопросы	4
2 Рекомендуемый план выполнения курсовой работы.....	5
3 Подготовка к курсовой работе.....	5
4 Задание на самостоятельную работу.....	5
5 Задание на курсовую работу	5
6 Требования к содержанию отчета	6
7 Перечень используемых понятий и контрольные вопросы для самопроверки.....	6
8 Рекомендуемая литература.....	6
Приложение 1 Варианты заданий на курсовые работы	11
Приложение 2 Пример оформления курсовой работы.....	13

Введение

В настоящем учебно-методическом пособии даются краткие указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Проектирование телекоммуникационных систем и сетей».

В курсовой работе должны быть рассмотрены задачи выбора необходимых ресурсов сети связи при заданных требованиях к качеству обслуживания и известных параметрах абонентского трафика. В работе также предполагается проведение анализа структуры сети связи и решение расчетных задач по трафику (оценка параметров, распределение по направлениям связи, выбор маршрутов пропуска) для оценки необходимой пропускной способности линий связи.

Решаемые в работе задачи направлены на изучение и закрепление знаний в области проектирования сетей связи.

Методические указания содержат формулировку цели работы и перечень решаемых задач, описания заданий на последовательно выполняемых этапах подготовительной самостоятельной работы и требования к содержанию отчета по курсовой работе.

Методические указания также содержат:

- контрольные вопросы для самопроверки;
- список рекомендуемой литературы по тематикам выполняемых работ;
- приложение 1 - Варианты заданий на курсовые работы;
- приложение 2 - Пример оформления курсовой работы.

Авторы выражают благодарность студентке Университета ИТМО группы Р4119 Шамиловой Р.В., оригинальная курсовая работа которой приведена в приложении 2.

1. Цель работы и изучаемые вопросы

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

Изучаемые вопросы:

1.1. Основные виды услуг и свойства производимого ими трафика (поточный, интерактивный и фоновый трафик, продолжительность сессии, интенсивность трафика, потоковые характеристики, выбор модели трафика).

1.2. 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).

1.3. 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).

2. Рекомендуемый план выполнения курсовой работы

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

2.2. Расчет интенсивности трафика для заданной услуги (набора услуг).

2.3. Выбор модели трафика, оценка параметров трафика.

2.4. Распределение трафика в сети связи заданной структуры.

2.5. Расчет интенсивности потоков данных на линиях связи.

2.6. Расчет требуемых пропускных способностей для линий связи.

2.7. Итоги работы с оценкой результатов выполнения задания.

3. Подготовка к курсовой работе

Изучить теоретический материал из рекомендованной литературы, особенно учебных пособий [1, 2], по вопросам, рассматриваемым в курсовой работе:

- структура сети связи;
- понятие абонентской нагрузки;
- показатели качества функционирования сети телефонной связи;
- математические модели, применяемые для расчета параметров сетей телефонной связи;
- математические модели, применяемые для расчета параметров сетей передачи данных;
- пример оформления курсовой работы (приложение 2).

4. Задание на самостоятельную работу

- Выбрать исходные данные согласно заданию (варианту).
- Выбрать параметры абонентской нагрузки.
- Выбрать нормативное значение коэффициента потерь и задержки.
- Подготовить средства для вычисления пропускных способностей соединительных линий сети связи.

5. Задание на курсовую работу

- Описать исходные данные и требования к работе по конкретному варианту.
- Вычислить оценки интенсивности производимого трафика.
- Рассчитать коэффициенты распределения трафика.
- Вычислить распределение трафика в направлениях связи.
- Вычислить распределение трафика по линиям связи.
- Рассчитать пропускные способности линий связи.

6. Требования к содержанию отчета

Титульный лист – по образцу в приложении 2.

Описание исходных данных и требований к работе.

Описание и результаты расчета интенсивности производимого трафика.

Описание и результаты расчета коэффициентов распределения трафика.

Описание и результаты расчета распределения трафика в направлениях связи.

Описание и результаты расчета распределение трафика по линиям связи.

Описание и результаты расчета пропускных способностей линий связи.

Примечание: учесть требования приложения 1.

7. Перечень используемых понятий и контрольные вопросы для самопроверки

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

8. Рекомендуемая литература

1. Давыдов А. Е., Смирнов П. И., Парамонов А. И. Проектирование телекоммуникационных систем и сетей. Раздел Коммутируемые сети связи. Расчет параметров и анализ трафика. Учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО. 2016. – 48 с.

2. Давыдов А. Е., Смирнов П. И., Парамонов А. И. Проектирование телекоммуникационных систем и сетей. Раздел Лабораторные исследования сетей связи и передачи данных. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 37 с.

3. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010.

4. Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика. – М.: Связь, 1979.

5. Приказ №113 Минкомсвязи РФ от 27.09.2007 г.

6. ГОСТ Р 53111-2008 «Устойчивость функционирования сети связи общего пользования».
7. Асанов М.О., Баранский В.А., Расин В.В. Дискретная математика: графы, матроиды, алгоритмы. – М.: РХД, 2001.
8. Рекомендация ИТУ-Т У.1540.
9. Рекомендация ИТУ-Т У.1541.
10. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
11. Зелигер Н.Б., Чугреев О.С., Яновский Г.Г. Проектирование сетей и систем передачи дискретных сообщений. – М.: Радио и связь, 1984 г. – 177с.
12. Кучерявый А.Е., Парамонов А.И., Кучерявый Е.А. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта. – М.: ФГУП ЦНИИС, 2008. – 290 с.
13. Алиев Т.И. Сети ЭВМ и телекоммуникации. – СПб.: Университет ИТМО, 2011, – 400 с.
14. Давыдов Е.Б., Шапаренко Ю.М., Давыдов А.Е. Проблемы разработки и проектирования защищенной телекоммуникационной системы // Успехи современной науки - 2016. - Т. 1. - № 3. - С. 92-97.
15. Бескид П.П., Суходольский В.Ю., Шапаренко Ю.М. Проектирование защищённых информационных систем. Часть 1. Конструкторское проектирование. Защита от физических полей. Учебное пособие – 2008.
16. Давыдов А.Е. Перспективные направления развития отрасли в области телекоммуникационного оборудования. – Ялта: Труды XII отраслевой научно-технической конференции «Инновационные радиоэлектронные технологии – регионам России», 2014.
17. Давыдов А.Е. Техничко-экономические аспекты импортозамещения средств связи / Давыдов, А.Е., Смирнов, П.И. – М: Труды ЦНИИ ВВС «Эффективность автоматизированных систем управления авиацией, систем связи и радиотехнического обеспечения», 2015. – Вып. III. –Ч. 2. –С. 102–109.
18. Давыдов А.Е., Максимов Р.В., Савицкий О.К. Безопасность ведомственных интегрированных инфокоммуникационных систем. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2011 – 192 с.
19. Давыдов А.Е., Максимов Р.В., Савицкий О.К. Технические средства и методы защиты информации от утечки по техническим каналам на объектах информатизации. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2012- 194 с.
20. Смирнов П.И. Техничко-экономические и нормативные аспекты импортозамещения телекоммуникационного оборудования / Смирнов, П.И. – М.: АО «ЦНИИ «Электроника» Журнал «Радиопромышленность». Сер. «ОУЭ». Вып.4., 2015. С.209–229.
21. Смирнов П. И. Аспекты импортозамещения в отрасли инфокоммуникаций / Смирнов П. И., Филиппов А.А. – М.: Советник Президента. – 2014. – No 131.

22. Смирнов П.И. Телекоммуникационное оборудование для развития сетей связи Республики Крым / Смирнов П.И., Филиппов А.А. – СПб ГПУ.: Экспертный союз. 2015. – №3.
23. Воробьев С.П., Давыдов А.Е., Курносков В.И. Жизненный цикл инфокоммуникационных сетей. – М.: Управление делами президента Российской Федерации. – 2012.
24. Щеглов, А.Ю. Основы теории надежности СЗИ. Назначение средств добавочной защиты / А.Ю. Щеглов // Журнал «Защита информации. Конфидент» – 2003. – №4. –С. 34–37.
25. Щеглов, А. Ю. Исследование эффективности обслуживания заявок в ЛВС реального времени по приоритетным расписаниям / Щеглов А. Ю. – М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана». Эл № ФС 77 - 48211. ISSN 1994-0408.
26. Щеглов А. Ю. Принципы обслуживания заявок в вычислительных системах с динамическими относительными приоритетами // Информационные технологии. 1997. № 8. С. 17–21.
27. Щеглов А. Ю. Принципы унификации методов кодового управления множественным доступом к ресурсам вычислительных систем и ЛВС // Информационные технологии. 1998. № 2. С. 20–25.
- 28 Щеглов А. Ю. Метод синтеза расписаний обслуживания заявок для распределенных вычислительных систем и ЛВС реального времени // Информационные технологии. 1997. № 10. С. 22–27.
29. IP АТС Александрит [Электронный ресурс]: – СПб.: НИИ Масштаб – 2016. – режим доступа: <http://mashtab.org/products/aleksandrit/>.
30. РД 45.120-2000 Нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети.
31. Шнепс М.А., Численные методы теории телетрафика. – М.: Связь. – 1974. – 232 с.
32. Шнепс–Шнеппе М.А., Системы распределения информации. Методы расчета. М.: Связь. 1979. – 344 с.
33. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. М.: Экотрендз, 2010 г.
34. Соколов Н.А. Эволюция местных телефонных сетей. Пермь.: Книга, 1994 г.
35. Соколов Н.А. Задачи планирования сетей электросвязи. СПб.: Техника связи, 2012 г.
36. Шелухин О.И., Осин А.В., Смольский С.М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения М.: Физматлит. – 2008. – 368с.
37. Цыбаков, Б.С. Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса / Цыбаков Б.С. – М. : Радиотехника. - 1999. - №5. – С. 24 – 31.
38. Кристофидес, Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н. Кристофидес. М.: Мир. 1978. – 430 с.

39. Кучерявый, А.Е. Пакетная сеть связи общего пользования / Кучерявый А.Е., Гильченко Л.З., Иванов А.Ю. - СПб.: Наука и техника, 2004. – 272 с.
40. Кучерявый, А.Е. Сети связи следующего поколения / Кучерявый А.Е., Цуприков А.Л. – М.: Центральный научно-исследовательский институт связи (ЦНИИС), 2006. – 278 с.
41. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969 г.
42. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Статистический анализ данных на компьютере. М.: ИНФРА, 1998 г.
43. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. М.: Мир. – 1980. – 610с.
44. Фишер Р.А. Статистические методы для исследователей. М.: Госсвязьиздат.1958. –267с.
45. Берлин, А.Н. Коммутация в системах и сетях связи / Берлин А.Н. – М.: Экотрендз. – 2006. – 344с.
46. Парамонов, А.И. Проблемы развития инфокоммуникационных услуг и их влияние на перераспределение трафика / Парамонов А.И., Сенькина Н.С. – СПбГУТ.: Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. Т. 4. № 1. – С.46–54.
47. Парамонов, А.И. Модели потоков трафика для сетей M2M / Парамонов А.И. – М.: Электросвязь. 2014. – № 4. – С. 11–16.
48. Парамонов, А.И. Управление трафиком машина-машина на основе расписания / Парамонов А.И. – М.: Системы управления и информационные технологии. 2014. –Т. 56.-№ 2. – С. 84–88.
49. Парамонов, А.И. Миграция речевого трафика в современных сетях связи / Парамонов А.И., Кучерявый А.Е. – М.: Электросвязь. 2007. –№ 12. – С.20–22.
50. Кучерявый, А.Е. Сети связи с малыми задержками / Кучерявый А.Е., Парамонов А.И., Аль-Наггар Я.М. –М.: Электросвязь.-2013.-№ 12. –С.15–19.
51. Комашинский, В.И. От телекоммуникационной к когнитивной инфокоммуникационной системе / Комашинский В.И., Парамонов А.И. / В сборнике: 5-я Российская мультikonференция по проблемам управления материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2012). 2012. – С. 787–793.
52. Комашинский, В.И. От телекоммуникационной к когнитивной инфокоммуникационной системе / Комашинский В.И., Мардер Н.С., Парамонов А.И. –М.: Технологии и средства связи. –2011. –№ 4. – 52 с.
53. Тарасов, Д.В. Особенности видеотрафика для сетей связи следующего поколения / Тарасов Д.В., Парамонов А.И., Кучерявый А.Е. – М.: Электросвязь. 2010. –№ 2. – С.37–43.
54. Кучерявый, А.Е. Реструктуризация трафика сетей связи и новые подходы к прогнозированию их развития / Кучерявый А.Е., Ревелова З.Б., Парамонов А.И. – М.: Электросвязь. 2003. –№ 2. – С.9–12.

55. Киричек, Р.В. Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей / Киричек Р.В., Парамонов А.И., Прокопьев А.В., Кучерявый А.Е. – СПбГУТ.: Информационные технологии и телекоммуникации. 2014. – № 4 (8). – С.29–41.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Варианты заданий на курсовые работы

1. Структура сети связи

Структура сети - общая для всех вариантов задания и описана графом, который приведен на рисунке 1.

Узлы сети (вершины графа) с номерами 1...8 представляют собой узлы доступа, в которые включены пользователи сети (абоненты).

Узлы сети с номерами 9...12 представляют собой узлы ядра сети и обеспечивают транзит трафика (не имеют абонентов).

Узлы сети с номерами 13 и 14 являются пограничными узлами с сетями провайдеров услуг. Узлы 13 и 14 обеспечивают связь с провайдерами услуг VoIP.

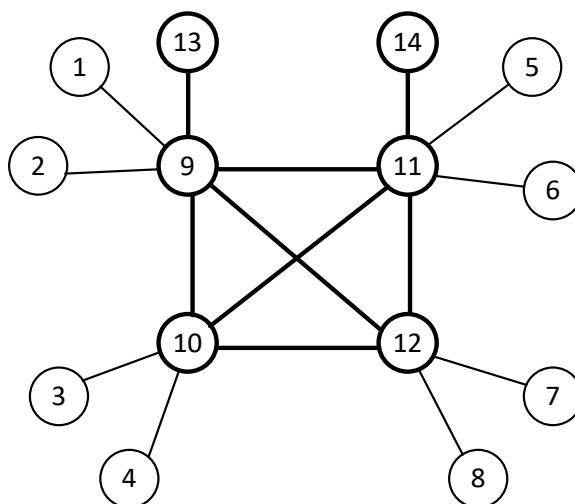


Рисунок 1 – Структура сети связи

2. Количество пользователей

Количество пользователей (абонентов) узлов доступа определяется номером варианта и приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Количество абонентов для различных вариантов

№ Узла	Количество абонентов для разных вариантов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4235	4158	6329	1920	3822	5883	6284	4442	3292	3778
2	1429	6765	5288	1669	1286	3590	4662	6890	4435	1174
3	2903	2937	2755	5544	3188	2750	6246	1466	3162	3820
4	2420	7718	6305	7515	7988	5463	1500	6325	6829	5271
5	6653	3923	6984	4585	5989	1732	3150	3676	4367	1908
6	2407	4389	5732	5423	4676	2223	4064	2653	5622	1043
7	3932	2659	3509	967	1508	1078	2716	3738	3160	7786
8	2930	1106	4971	4271	4214	5540	2807	4379	1965	6300

3. Параметры трафика

Абоненты сети связи пользуются услугой VoIP (IP -телефонией).

Удельная интенсивность абонентской нагрузки определяется согласно номеру варианта из таблицы 2.

Таблица 2 – Удельная интенсивность абонентской нагрузки (Эрл)

№ Варианта	Удельная интенсивность абонентской нагрузки (Эрл)
1	0,05
2	0,06
3	0,07
4	0,08
5	0,09
6	0,10
7	0,11
8	0,12
9	0,13
10	0,14

Данные общие для всех вариантов:

Тип используемого кодека G.711.

Скорость потока данных в канале 85,6 Кбит/с.

Длина VoIP пакета 200 байт.

Все абоненты равновероятно пользуются услугами двух провайдеров VoIP.

Абонентский трафик маршрутизируется между узлом доступа и узлами пограничными с сетями провайдеров услуг (узлы 13 и 14)

Трафик в сети маршрутизируется по кратчайшему маршруту, при этом под длиной маршрута понимается количество транзитов (скачков).

4. Требования к качеству обслуживания

Требования общие для всех вариантов.

Доля вызовов (сессий) обслуженных с гарантированным качеством не менее 98%.

Средняя величина задержки доставки пакета между VoIP абонентами в проектируемой сети не более 50 мс.

5. Требования к результатам расчета

Требования общие для всех вариантов.

Требуется оценить необходимые пропускные способности линий связи между узлами сети.

Примечание. При расчете принять модель участка сети связи как модель СМО М/М/1).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Пример оформления курсовой работы Титульный лист (образец):

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

**Курсовая работа
по дисциплине
«Проектирование телекоммуникационных систем
и сетей»**

Расчет сети передачи данных

Группа: Р4119

Студент: Шамилова Р. В.

Вариант: 2

Проверил: доцент Шапаренко Ю.М.

Санкт-Петербург, 2016

Основной текст (образец):

1. Постановка задачи

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

2. Исходные данные и требования

2.1. Структура сети связи

Структура сети связи описана графом, который приведен на рисунке 1.

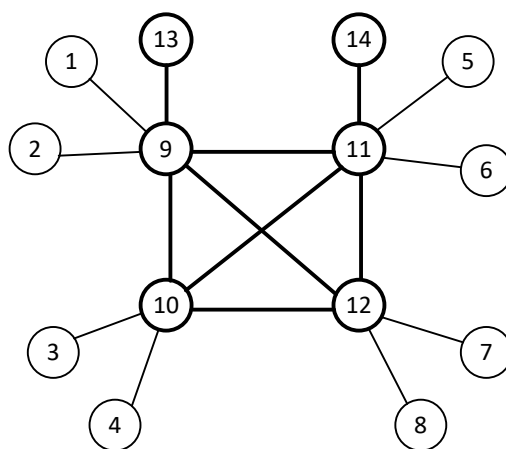


Рисунок 1 – Структура сети связи

Узлы сети (вершины графа) с номерами 1...8 представляют собой узлы доступа, в которые включены пользователи сети (абоненты).

Узлы сети с номерами 9...12 представляют собой узлы ядра сети и обеспечивают транзит трафика (не имеют абонентов).

Узлы сети с номерами 13 и 14 являются пограничными узлами с сетями провайдеров услуг. Узлы 13 и 14 обеспечивают связь с провайдерами услуг VoIP.

Количество абонентов узлов доступа приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Количество абонентов

№ Узла	Количество абонентов
1	4158
2	6765
3	2937
4	7718
5	3923
6	4389
7	2659
8	1106

2.2. Параметры трафика

Абоненты сети связи пользуются услугой VoIP (IP -телефонией).

Удельная интенсивность абонентской нагрузки 0,06 Эрл.

Тип используемого кодека G.711.

Скорость потока данных в канале 85,6 Кбит/с.

Длина VoIP пакета 200 байт.

Все абоненты равновероятно пользуются услугами двух провайдеров VoIP.

Абонентский трафик маршрутизируется между узлом доступа и узлами, пограничными с сетями провайдеров услуг (узлы 13 и 14).

Трафик в сети маршрутизируется по кратчайшему маршруту, при этом под длиной маршрута понимается количество транзитов (скачков).

2.3. Требования к качеству обслуживания

Доля вызовов (сессий), обслуженных с гарантированным качеством, не менее 98%.

Средняя величина задержки доставки пакета между VoIP абонентами в проектируемой сети не более 50 мс.

2.4. Требования к результатам расчета

Требуется оценить необходимые пропускные способности линий связи между узлами сети. При расчете принять модель участка сети связи как модель СМО М/М/1.

3. Оценка интенсивности производимого трафика

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

$$y_i = n_i \cdot y_0 \text{ Эрл,}$$

где n_i – количество абонентов i -го узла,

y_0 - интенсивность удельной абонентской нагрузки (Эрл).

Результаты расчета интенсивности производимой абонентской нагрузки VoIP приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты расчета интенсивности абонентской нагрузки VoIP

№ Узла	Интенсивность абонентской нагрузки
1	249,48
2	405,90
3	176,22
4	463,08
5	235,38
6	263,34
7	159,54
8	66,36

Узлы сети 9...12 осуществляют только маршрутизацию трафика, интенсивность производимой в них нагрузки равна нулю.

4. Расчет коэффициентов распределения

Согласно заданию полагаем, что абонентский трафик маршрутизируется между узлами доступа и узлами, пограничными с сетями провайдеров услуг (узлы 13 и 14). При этом доли трафика на узлы 13 и 14 равны 50%. Коэффициенты распределения трафика приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты распределения трафика

Номер узла доступа	Номер узла назначения	
	13	14
1	0,5	0,5
2	0,5	0,5
3	0,5	0,5
4	0,5	0,5
5	0,5	0,5
6	0,5	0,5
7	0,5	0,5
8	0,5	0,5

В таблице приведены данные для узлов назначения только с ненулевыми значениями коэффициентов распределения.

5. Распределение трафика в направлениях связи

Интенсивность трафика в направлении связи определяется интенсивностью производимого трафика и коэффициентами распределения

$$y_{i,j} = y_i \cdot k_{i,j} \text{ Эрл,}$$

где y_i интенсивности абонентской нагрузки (таблица 2),

$k_{i,j}$ - коэффициент распределения трафика (таблица 3).

Интенсивность трафика в направлениях связи приведена в таблице 4.

Таблица 4 - Интенсивность трафика в направлениях связи

Номер узла доступа	Номер узла назначения	
	13	14
1	124,74	124,74
2	202,95	202,95
3	88,11	88,11
4	231,54	231,54
5	117,69	117,69
6	131,67	131,67
7	79,77	79,77
8	33,18	33,18

В таблице приведены данные для узлов назначения только с ненулевыми значениями интенсивности нагрузки.

6. Распределение трафика по линиям связи

6.1. Выбор метода распределения трафика

Для распределения трафика по линиям связи необходимо знать структуру сети связи и правила маршрутизации трафика в сети.

Структура сети определена заданием. Согласно заданию трафик в сети связи направляется по кратчайшим маршрутам, при этом под длиной маршрута понимается количество транзитов (скачков). Поэтому, для решения поставленной задачи, необходимо:

- найти кратчайшие маршруты в сети связи;
- распределить трафик по найденным маршрутам.

Для поиска кратчайших маршрутов в сети связи используем алгоритм Флойда-Уоршелла.

6.2. Маршруты пропуска трафика

Для поиска маршрутов пропуска трафика с помощью алгоритма Флойда-Уоршалла опишем сеть матрицей смежности, которая приведена в таблице 5.

Таблица 5 - Матрица смежности

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0								1					
2		0							1					
3			0							1				
4				0						1				
5					0						1			
6						0					1			
7							0					1		
8								0				1		
9	1	1							0	1	1	1	1	
10			1	1					1	0	1	1		
11					1	1			1	1	0	1		1
12							1	1	1	1	1	0		
13									1				0	
14											1			0

В матрице смежности число на пересечении i -й строки и j -го столбца означает наличие линии связи между i -м и j -м узлом связи. Если ячейка таблицы оставлена пустой, то полагаем, что линии связи нет, формально ее длина равна бесконечности.

Длины существующих линий связи приняты равными 1, т.к. при определении кратчайшего маршрута, согласно заданию, учитывается только их количество, т.е. число транзитов (скачков).

В результате расчета с помощью алгоритма Флойда-Уоршалла получаем матрицу кратчайших маршрутов между всеми узлами сети, которая приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Матрица кратчайших маршрутов

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
2	9	2	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
3	10	10	3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4	10	10	10	4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	11	11	11	11	5	11	11	11	11	11	11	11	11	11
6	11	11	11	11	11	6	11	11	11	11	11	11	11	11
7	12	12	12	12	12	12	7	12	12	12	12	12	12	12
8	12	12	12	12	12	12	12	8	12	12	12	12	12	12
9	1	2	10	10	11	11	12	12	9	10	11	12	13	11
10	9	9	3	4	11	11	12	12	9	10	11	12	9	11
11	9	9	10	10	5	6	12	12	9	10	11	12	9	14
12	9	9	10	10	11	11	7	8	9	10	11	12	9	11
13	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	13	9
14	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	14

В матрице кратчайших маршрутов число на пересечении i -й строки и j -го столбца означает номер следующего узла в маршруте между i -м и j -м узлом связи.

Также данную матрицу можно выразить и в количестве скачков между i -м и j -м узлом связи. Для этого воспользуемся программой, приведенной в Приложении 1 в данном отчете.

Вводим количество вершин (в данном задании — 14), указываем для каждого пересечения i -й строки и j -го столбца значения из таблицы 5, причем при пустой клетке в данной таблице вводим значение 111 (для указания бесконечной длины ЛС). Получаем результат, показанный на Рисунке 2.

```

c:\users\acer\documents\visual studio 2013\Projects\ConsoleApplication2\Debug\ConsoleApplication2.e
GR[13][13] > 0
GR[13][14] > 111
GR[14][1] > 111
GR[14][2] > 111
GR[14][3] > 111
GR[14][4] > 111
GR[14][5] > 111
GR[14][6] > 111
GR[14][7] > 111
GR[14][8] > 111
GR[14][9] > 111
GR[14][10] > 111
GR[14][11] > 1
GR[14][12] > 111
GR[14][13] > 111
GR[14][14] > 0
Матрица кратчайших путей:
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
2 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
3 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
4 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
5 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
6 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1
7 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1
8 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1
9 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1
10 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1
11 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1
12 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1
13 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1
14 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
  
```

Рисунок 2 – Результат расчета при помощи алгоритма Флойда-Уоршалла

Для лучшей наглядности вставим при помощи Мастера вставки получившуюся таблицу в табличный процессор (LibreOffice Calc), рисунок 3.

F	G	H										K			
		Матрица кратчайших путей:													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	1	0	2	3	3	3	3	3	3	1	2	2	2	2	3
	2	2	0	3	3	3	3	3	3	1	2	2	2	2	3
	3	3	3	0	2	3	3	3	3	2	1	2	2	3	3
	4	3	3	2	0	3	3	3	3	2	1	2	2	3	3
	5	3	3	3	3	0	2	3	3	2	2	1	2	3	2
	6	3	3	3	3	2	0	3	3	2	2	1	2	3	2
	7	3	3	3	3	3	3	0	2	2	2	1	2	3	3
	8	3	3	3	3	3	3	2	0	2	2	2	1	3	3
	9	1	1	2	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1	2
	10	2	2	1	1	1	2	2	2	1	0	1	1	2	2
	11	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	0	1	2	1
	12	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	2	2
	13	2	2	3	3	3	3	3	3	1	2	2	2	0	3
	14	3	3	3	3	2	2	3	3	2	2	1	2	3	0

Рисунок 3 – Матрица кратчайших маршрутов, на пересечении *i*-строки и *j*-столбца указаны количества скачков между одноименными узлами сети связи

6.3. Трафик линий связи

На основе данных о кратчайших маршрутах (таблица 6) и данных о интенсивности трафика в направлениях связи (таблица 4) распределим трафик по линиям связи сети. Результаты приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Трафик линий связи (Эрл)

	9	10	11	12	13	14
1	62,37					
2	101,475					
3		44,055				
4		115,77				
5			58,845			
6			65,835			
7				39,885		
8				16,59		
9			81,9225		252,4125	
10	79,9125		79,9125			
11	62,34					252,4125
12	28,2375		28,2375			
13						
14						

В таблице приведены данные для линий связи только с ненулевыми значениями интенсивности нагрузки.

6.4. Количество потоков

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 формулу Эрланга, оценим количество потоков VoIP, которое должна обслуживать проектируемая сеть.

$$p(y,v) = \frac{y^v}{v!} \cdot \frac{1}{\sum_{j=0}^v \frac{y^j}{j!}},$$

где y – интенсивность абонентской нагрузки (Эрл),
 v – количество потоков VoIP.

Формально, нахождение количества потоков можно записать как

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

где p_0 - заданная норма потерь.

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

С учетом допустимой величины потерь, на основе данных о трафике линий связи (таблица 7) получаем число потоков VoIP для каждой линии связи. Вычисленные значения количества потоков приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Количество потоков VoIP

	9	10	11	12	13	14
1	74					
2	114					
3		55				
4		129				
5			70			
6			78			
7				50		
8				24		
9			94		267	
10	92		92			
11	74					267
12	37		37			
13						
14						

6.5. Интенсивность трафика

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),

v – количество потоков VoIP.

Из задания $a_0 = 85,6$ Кбит/с. На основе результатов расчета количества потоков (таблица 8) вычисляем интенсивность трафика для линий связи. Результаты приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Интенсивность трафика линий связи (бит/с)

	9	10	11	12	13	14
1	6334400					
2	9758400					
3		4708000				
4		11042400				
5			5992000			
6			6676800			
7				4280000		
8				2054400		
9			8046400		22855200	
10	7875200		7875200			
11	6334400					22855200
12	3167200		3167200			
13						
14						

7. Расчет пропускной способности линий связи

7.1. Модель линии, оценка пропускной способности

Согласно заданию модель линии может быть описана как СМО М/М/1, тогда время доставки пакета на участке маршрута (на транзитном участке) 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 (с).

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).

$$\bar{t} = \frac{l}{b} \text{ с,}$$

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

Подставляя два последних выражения в формулу для времени доставки и выражая из нее b , получим

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

7.2. Расчет требуемой пропускной способности линий связи

Согласно заданию, требование к задержке доставки пакета между пользователями сети не должно превышать 50 мс. Согласно структуре сети и заданным правилам маршрутизации, максимальное количество транзитов в маршруте между абонентами равно шести. Распределим задержку в равных долях по всем участкам маршрута. Тогда на одном участке задержка не должна превышать $50/6 \approx 8$ мс.

Вычислим пропускные способности участков маршрута на основе данных об интенсивности трафика линий связи (таблица 9) и норматива задержки 8 мс. Результаты вычислений приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Требуемая пропускная способность линий связи (Мбит/с)

	9	10	11	12	13	14
1	6,5344					
2	9,9584					
3		4,908				
4		11,2424				
5			6,192			
6			6,8768			
7				4,48		
8				2,2544		
9			8,2464		23,0552	
10	8,0752		8,0752			
11	6,5344					23,0552
12	3,3672		3,3672			
13						
14						

Анализ таблицы 10 показывает, что требуемые пропускные способности линий связи между транзитными узлами (9 ... 12) могут быть различны в различных направлениях связи. Ввиду того, что технологии передачи данных обеспечивают симметричные каналы с равной пропускной способностью в обоих направлениях, выбираем максимальную величину из двух полученных.

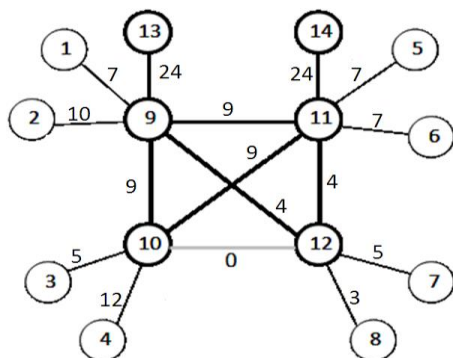


Рисунок 4 – Пропускные способности линий связи (Мбит/с)

На рисунке 4 приведена структура сети связи с указанием пропускных способностей линий связи. Пропускные способности приведены в Мбит/с и округлены до целого значения с избытком.

Заключение

В данной курсовой работе объектом рассмотрения являлась сеть передачи данных с коммутацией пакетов, топологическая структура которой была представлена математической моделью – неориентированным взвешенным графом, вершины которого представляли собой узлы доступа, узлы ядра сети и пограничные узлы с сетями провайдеров услуг VoIP.

Трафик данной сети рассматривался как симметричный, т.е. его средние характеристики принимались одинаковыми на каждой линии связи, которые в свою очередь предполагались дуплексными с одинаковыми пропускными способностями в обоих направлениях (направление входящего и исходящего трафика). Это позволило уменьшить размерность решаемой задачи: интенсивность трафика на линиях связи вычислялась только для одного направления.

Маршрутизация трафика в сети связи осуществлялась по кратчайшим маршрутам, для поиска которых применялся алгоритм Флойда-Уоршелла.

При расчете использовался метод математического аппарата теории массового обслуживания для сетей очередей: участок сети связи представлялся в виде модели СМО М/М/1.

Для определения качества функционирования системы оценивались такие параметры, как задержка передачи данных на одном участке и пропускные способности линий связи.

Таким образом, задание на курсовую работу (вариант 2) выполнено: для заданных основных составляющих качества обслуживания VoIP (задержка доставки пакета и процент потерянных пакетов) и параметров трафика были найдены расчетные величины пропускных способностей линий связи между узлами сети, достаточные для обеспечения абонентов выбранной услугой.

Решение задачи нахождения матрицы кратчайших маршрутов по алгоритму Флойда-Уоршалла приведено в Приложении к работе.

Приложение к работе

Код программы на языке C++ для нахождения матрицы кратчайших маршрутов по алгоритму Флойда-Уоршелла, где при пересечении i -строки и j -столбца указывается количество скачков от узла i до узла j :

```
#include "stdafx.h"
#include <iostream>
using namespace std;
const int maxV = 1000;
int i, j, n;
int R[maxV][maxV];
//алгоритм Флойда-Уоршелла
void F(int D[][maxV], int V)
{
    int k;
    for (i = 0; i<V; i++) D[i][i] = 0;

    for (k = 0; k<V; k++)
        for (i = 0; i<V; i++)
            for (j = 0; j<V; j++)
                if (D[i][k] && D[k][j] && i != j)
                    if (D[i][k] + D[k][j]<D[i][j] || D[i][j] == 0)
                        D[i][j] = D[i][k] + D[k][j];

    for (i = 0; i<V; i++)
    {
        for (j = 0; j<V; j++) cout << D[i][j] << "\t";
        cout << endl;
    }
}
//главная функция
void main()
{
    setlocale(LC_ALL, "Rus");
    cout << "Количество вершин в графе > "; cin >> n;
    cout << "Введите матрицу весов ребер:\n";
    for (i = 0; i<n; i++)
        for (j = 0; j<n; j++)
        {
            cout << "R[" << i + 1 << "][" << j + 1 << "] > ";
            cin >> R[i][j];
        }
    cout << "Матрица кратчайших путей:" << endl;
    F(R, n);
    system("pause>>void");
}
```


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 ОАО «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 ОАО «НИИ «Масштаб» удовлетворяет критериям отбора высокотехнологичных компаний, претендующих на открытие базовой магистерской кафедры в Университете ИТМО.

Университет с участием специалистов ОАО «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 ОАО «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 (ОАО «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 выработать 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, занимающиеся 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 Евгений Борисович,
Парамонов Александр Иванович,
Шапаренко Юрий Михайлович

Проектирование телекоммуникационных систем и сетей
Раздел Курсовые работы по дисциплине

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