



*Факультет
дистанционного образования*

В.М. Винокуров

СЕТИ СВЯЗИ И СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ

Учебно - методическое пособие

ТОМСК – 2012

**Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Томский государственный Университет Систем Управления и
Радиоэлектроники
(ТУСУР)**

Кафедра теоретических основ радиотехники (ТОР)

В.М. Винокуров

СЕТИ СВЯЗИ И СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ

Раздел 1

Учебно - методическое пособие

2012

Рецензент: заведующий кафедрой ТОР ТУСУР, д.т.н., профессор
Пуговкин А.В.

Корректор: Воронина М.А.

Винокуров В.М.

Сети связи и системы коммутации: Учебно-методическое пособие.
/Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. – Томск :
Факультет дистанционного образования, 2012. – 35 с.

Для студентов специальности 210405 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» по направлению «Телекоммуникации», а также для студентов специальностей 210302 - «Радиотехника», 210401 - «Физика и техника оптической связи», 210402 «Средства связи с подвижными объектами». Рекомендуется студентам соответствующих специальностей очной, заочной и дистанционной форм обучения.

© Винокуров В.М.,	2012
© Факультет дистанционного образования ТУСУР	2012

СОДЕРЖАНИЕ

Методические указания по курсу "Сети связи и системы коммутации".....	5
1 Введение.....	5
2 Программа курса "Сети связи и системы коммутации".....	6
3 Выполнение контрольных работ... ..	11
3.1 Контрольная работа №1.....	11
3.1.1 Задание.....	11
3.2 Контрольная работа №2. Изучение методов теории телетрафика..	11
3.2.1 Задание.....	11
Задачи группы А.....	11
Задачи группы В.....	15
3.2.2 Методические указания к выполнению контрольной работы...	19
3.3 Контрольная работа №3.....	20
3.3.1 Задание.....	20
3.4 Контрольная работа №4. Методы маршрутизации в сетях связи...	20
3.4.1 Задание.....	20
3.4.2 Методические указания к выполнению контрольной работы...	24
3.4.2.1 План распределения информации.....	24
3.4.2.2 Методы выбора оптимального плана распределения информации.....	25
3.4.2.3 Волновой метод.....	26
3.4.2.4 Метод рельефов.....	27
3.4.2.5 Описание алгоритма Дейкстры.....	28
3.4.3 Примеры решения (схематичные).....	30
Пример 1.....	30
Пример 2.....	31
Пример 3.....	32
Список использованной литературы.....	35

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КУРСУ "СЕТИ СВЯЗИ И СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ"

1. ВВЕДЕНИЕ

Содержание учебно-методического пособия соответствует программе одноименного курса, читаемого на радиотехническом факультете ТУСУР, и составлено на основе курсов лекций, прочитанных автором для студентов специальности 210405 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» по направлению «Телекоммуникации», а также для студентов смежных специальностей (210302 - «Радиотехника», 210401 - «Физика и техника оптической связи», 210402 «Средства связи с подвижными объектами», 210403 (21800) «Защищенные системы связи», 090105 (075500) «Комплексное обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем»).

Дисциплина "Сети связи и системы коммутации" является одной из основных дисциплин в образовательной программе специальности "Радиосвязь, радиовещание и телевидение". При разработке учебно-методических материалов по данному курсу предполагалось, что обучающийся уже владеет необходимыми знаниями в области изучения систем передачи (в особенности, цифровых), почерпнутыми им из освоения курса "Основы построения телекоммуникационных систем и сетей". Задачей курса "Сети связи и системы коммутации" является углубленное изучение современных сетей связи и сопряженных с ними сетевых проблем, таких, как телетрафик, маршрутизация сообщений, сигнализация, синхронизация и т.д.

Учебный план курса "Сети связи и системы коммутации" рассчитан на два семестра (девятый и десятый) и предполагает выполнение четырёх контрольных работ. Данное учебно-методическое пособие содержит их описание. Две контрольные работы (№1 и №2) выполняются в девятом семестре и две - в десятом (№3 и №4). Контрольные работы №1 и №3 являются тестовыми, *компьютерными*. Студенту надлежит выбрать правильные ответы из предлагаемых ему вариантов ответов. Контрольные работы №2 и №4 проверяют знания студента в области теории телетрафика (№2) и методов маршрутизации на сетях связи (№4). В работе №2 студенту предлагается решить две задачи, на которые он должен дать аргументированный *письменный* отчёт. Та же форма отчётности предусмотрена в работе №4. Здесь студенту необходимо выполнить все необходимые этапы маршрутизации, сопровождая отчёт графическими построениями.

Кроме описания контрольных работ учебно-методическое пособие содержит "Программу курса".

2. ПРОГРАММА КУРСА "СЕТИ СВЯЗИ И СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ"

1) ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСА

1.1 Целью преподавания дисциплины “Сети связи и системы коммутации” является изложение основных системных вопросов построения телекоммуникационных сетей и внедрения в соответствующие сети цифровых систем коммуникации. Кроме того, излагаются основы теории телетрафика.

В результате изучения дисциплины студент должен:

иметь представление об основных научно-технических проблемах и перспективах развития телекоммуникаций, их взаимосвязи со смежными областями, о построении телекоммуникационных сетей и систем, о проблеме повышения эффективности использования каналов связи;

приобрести знания о принципах цифровой коммутации, об использовании на сетях связи перспективных методов сигнализации и синхронизации;

уметь рассчитывать основные параметры теории телетрафика в сетях связи;

уметь использовать полученные знания для выполнения общего проектирования телекоммуникационных сетей и систем.

1.2 Курс “Сети связи и системы коммутации” базируется на знаниях, полученных студентами в процессе изучения следующих дисциплин:

- радиотехнические цепи и сигналы,
- электромагнитные поля и волны,
- теория электрической связи,
- метрология и стандартизация,
- основы построения телекоммуникационных систем и сетей.

2) СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1 Содержание лекционного курса

2.1.1 Введение

Предмет, задачи курса. Основные принципы построения телекоммуникационных сетей. Коммуникационные и информационные сети. Первичные и вторичные сети связи. Транспортные сети и сети доступа. Телеинформационные и телематические службы. Модель телеинформационных служб. Взаимоувязанная сеть страны (ВСС). Системы

распределения информации. Коммутация и селекция. Коммутация каналов, сообщений и пакетов. Сети с маршрутизацией. Сети с селекцией данных. Сети управления электросвязью. Топология ИС.

2.1.2 Стандартизация сетей электросвязи

Стандартизация в телеинформатике. Структура служб стандартизации. Сектор стандартизации связи ITU–Т. МОС (Международная организация по стандартизации, ISO). Эволюция стандартов. Открытые информационные системы. Эталонная модель взаимодействия открытых систем (ЭМВОС). Функциональные среды. Функции, выполняемые уровнями ЭМВОС. Стандарты ЭМВОС. Словарь терминов. Примеры использования сетевых протоколов. Протоколы Internet. Соответствие популярных стеков протоколов модели OSI. Особенности стандартизации протоколов локальных сетей. Сетевые структуры глобальных сетей.

2.1.3 Основы теории телетрафика

Параметры сообщений и показатели качества обслуживания. Математическая модель телетрафика. Системы с явными потерями. Системы с ожиданием.

2.1.4 Обзор сетей электросвязи

- **Российская телекоммуникационная сеть общего пользования.** Классификация. Телефонная сеть общего пользования (ТФОП). Основные требования к ТФОП. Развитие ТФОП России. Автоматическая коммутируемая международная телефонная сеть. Автоматическая коммутируемая междугородная сеть России. Автоматические коммутируемые внутризональные телефонные сети. Городские телефонные сети (ГТС). Системы нумерации в ТФОП РФ. Стратегия перехода от аналоговых телефонных сетей к цифровым.
 - **Цифровая Сеть с Интеграцией Служб (ЦСИС).** Основные показатели ISDN. Службы ISDN. Функциональные блоки и интерфейсы ISDN. Доступ BRA. Варианты доступа к сети ISDN. Преимущества сетей ISDN по сравнению с ТФОП. Недостатки сетей ISDN. Сигнализация в ISDN (системы DSS1, OKC7 (SS7)). Некоторые протоколы серии I. Примеры использования протоколов ITU – Т в ISDN.
- Интеллектуальные сети (ИС).** Общие положения. Услуги ИС. Недостатки первого набора услуг (CS-1). Будущее ИС.
- Широкополосная цифровая сеть с интегрированными услугами Ш-ЦСИО (B-ISDN).** Архитектура Ш-ЦСИО. Асинхронный режим передачи. Виртуальные пути и виртуальные каналы. Заголовок селла. Протокольная модель ATM. Маршрутизация в сети ATM. Сигнализации в Ш-ЦСИО на технологии ATM. Протокольная модель Ш-ЦСИО. Функции физического уровня. Функции уровня ATM. Функции уровня AAL. Категории и классы

сервиса Ш-ЦСИО. Виды услуг, предоставляемые пользователям Ш-ЦСИО.

Сети с коммутацией меток.

2.1.5 Синхронизация цифровых сетей .

Общие положения. Современная концепция построения систем синхронизации. Структура системы межузловой синхронизации. Основные рекомендации по системе синхронизации цифровых телефонных сетей. Проектирование системы межузловой синхронизации. Структура системы внутриузловой синхронизации СВС. Подсистема QoS. Подсистема управления TMN и система синхронизации.

2.1.6. Принципы коммутации в сетях связи

Основные понятия и определения. **Обзор методов коммутации** (коммутация временных каналов, коммутация пакетов, быстрая коммутация пакетов, ретрансляция кадров, ретрансляция ячеек).. Цифровые кроссовые коммутаторы. Узел интегральной коммутации (баньяновая сеть, матричный коммутатор). Ретрансляционная система. Базовая сеть. Оптический коммутатор.

Коммутация в ТФОП. Ступени искания. Коммутационные приборы и их условные обозначения. Структуры коммутационного поля. Коммутационное поле АТСК. Коммутационное поле АТСКЭ. Принципы построения управляющих устройств. Коммутационное поле АТСЭ: общие положения, сравнение блоков ПК и ВК, коммутационные схемы В-П-В и П-В-П. Коммутационный модуль станции АХЕ-10. Общие сведения о цифровой АМТС типа АХЕ-10. Перспективы развития коммутационных систем. **Оптическая коммутация.**

2.1.7. Принципы сигнализации в ТФОП

Классификация систем сигнализации. Классификация видов сигналов. Примеры сигналов. Способы передачи линейных сигналов. Способы передачи сигналов управления. Передача информационных сигналов. Международные системы сигнализации. Система сигнализации R2. Специфика российских систем сигнализации. Некоторые интерфейсы систем сигнализации. Некоторые протоколы систем линейной сигнализации. Сигнализация "импульсный челнок". Общий канал сигнализации (ОКС). Структура сигнальных единиц в блоке МТР. Подсистема ISUP. Режимы работы сети сигнализации ОКС №7.

3. Рекомендуемые темы лабораторных занятий

1. Изучение принципов построения сетей ISDN
2. Изучение языка общения "Человек - Машина" (MML)
3. Изучение принципов построения сетей управления электросвязью (СУЭ)
4. Ознакомление с основами технологии SDH
5. Изучение методов маршрутизации в сетях связи

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, РЕКОМЕНДУЕМОЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНОГО КУРСА

а) Основная литература

1. Винокуров В.М. Сети связи и системы коммутации. [Электронный ресурс]: учеб. пособие /Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, ISBN 5-86889-215-1, 2006. – 304 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/694>.
2. Винокуров В.М. Цифровые системы передачи [Электронный ресурс]: учебное пособие /Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. – 159 с. Режим доступа : <http://edu.tusur.ru/training/publications/1408>.

б) Дополнительная литература

3. Цифровая телефония : Пер. с англ. / Дж. К. Беллами; Ред. пер. А. Н. Берлин, Ред. пер. Ю. Н. Чернышов. - 3-е изд. - М. : Эко-Трендз, 2004. - 640 с. : ил. - (Библиотека МТС). - Предм. указ.: с. 612-618. -Библиогр.: с. 619-639. - ISBN 5-88405-059-3 : (21 экз).
4. Цифровая телефония : Пер. с англ. / Джон Беллами. - М. : Радио и связь, 1986. - 544 с. : ил. - Библиогр.: с. 524-539. - (в пер.) : Б. ц.(5 экз)
5. Винокуров В.М. Сети связи и системы коммутации. Учебное пособие, раздел 1-Томск, ТМЦДО, 2004 - 244с.
6. Винокуров В.М. Сети связи и системы коммутации. Учебное пособие, раздел 2-Томск, ТМЦДО, 2004 - 137с.
7. Пуговкин А.В. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие, ч.1.-Томск, ТМЦДО, 2002 - 109с.
8. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. – СПб.: Издательство «Питер», 1999. – 714 с.
9. Олифер. В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : Учебное пособие для вузов / - 3-е изд. - СПб. : Питер, 2008. - 957[3] с. : ил, табл. - (Учебник для вузов). - Библиогр.: с. 919-921. -Алф. указ.: с. 922-957. - ISBN 978-5-469-00504-9 : (20 экз).
10. Назаров А.Н., Симонов М.В.. АТМ: технология высокоскоростных сетей.-М: Эко-трендз,1999,-252 с., ил.

11. Гольдштейн Б.С. Сигнализация в сетях связи.- М.: Радио и связь, 1997.- 423 с.: ил.,(1 экз).
12. Бакланов И.Г. Технологии измерений первичной сети. Часть 2. Системы синхронизации, В-ISDN, АТМ. - М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000. - 149 с.(8 экз)
13. Лазарев В.Г. Интеллектуальные цифровые сети. -М.: Финансы и статистика,1996 г.
14. Васильев, Владимир Иванович. Системы связи : Учебное пособие для вузов / Владимир Иванович Васильев, А. П. Буркин, Владимир Александрович Свириденко. - М. : Высшая школа, 1987. - 279, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 277. -Предм. указ.: с. 278. - (в пер.) : Б. ц.(75 экз).
15. Якубайтис, Эдуард Александрович. Информационные сети и системы : Справочная книга / Эдуард Александрович Якубайтис. - М. : Финансы и статистика, 1996. - 368 с. : ил. - (в пер.) : Б. ц. (5 экз).

в) Перечень методических указаний по практическим занятиям и лабораторным работам

16. Сети связи и системы коммутации [Электронный ресурс]: Лабораторный практикум / Винокуров В. М. – 2012. 75 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/1414>.
17. Средства коммутации систем подвижной радиосвязи [Электронный ресурс]: Лабораторный практикум / Винокуров В. М. – 2012. 78 с. Режим доступа :<http://edu.tusur.ru/training/publications/1416>.
18. Лабораторный практикум "Телекоммуникационные системы". Раздел 1. Изучение основополагающих принципов и устройств электронной ТФОП [Электронный ресурс]: Руководство к лабораторным работам / Винокуров В. М. – 2007. 61 с. Режим доступа :<http://edu.tusur.ru/training/publications/1268>.
19. Телекоммуникационные системы [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Пуговкин А. В. – 2007. 202 с. Режим доступа :<http://edu.tusur.ru/training/publications/1265>.
20. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. Часть 1. Системы передачи [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие / Пуговкин А. В. – 2012. 62 с. Режим доступа :<http://edu.tusur.ru/training/publications/1267>.

3. ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

3.1 Контрольная работа №1

3.1.1 Задание

Требуется ответить на тестовые вопросы. При ответе учесть, что верными могут быть несколько или даже все предложенные варианты ответов.

3.2 Контрольная работа №2

Изучение методов теории телетрафика

3.2.1 Задание

Номера вариантов указаны в таблице 3.1. В рамках каждого варианта необходимо решить две задачи: одну из группы задач **A** (номер задачи указан в строках таблицы 1), другую из группы **B** (номер задачи указан в столбцах таблицы 1). Например, в рамках варианта №151 предстоит решить задачи **A₁₁** и **B₆**. Тексты задач приведены ниже. Каждая группа содержит 15 задач.

Таблица 3.1

	B₁	B₂	B₃	B₄	B₅	B₆	B₇	B₈	B₉	B₁₀	B₁₁	B₁₂	B₁₃	B₁₄	B₁₅
A₁		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A₂		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
A₃	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
A₄		44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
A₅	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
A₆	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
A₇	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
A₈	103	104	105	106	107	108	109		110	111	112	113	114	115	116
A₉	117	118	119	120	121	122	123		124	125	126	127	128	129	130
A₁₀	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145
A₁₁	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
A₁₂	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171			172	173
A₁₃	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184			185	186
A₁₄	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201
A₁₅	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211		212	213	214	215

ЗАДАЧИ ГРУППЫ А

Задача №А₁. Пучок соединительных линий от центральной станции к УТС содержит четыре линии. Если средняя длительность разговора равна 3 мин, а интенсивность поступающей в ЧНН нагрузки равна 2 Эрл, определите:

- 1) частоту поступления вызовов в ЧНН;
- 2) вероятность того, что два вызова поступят в систему менее, чем за 1 с;
- 3) вероятность потерь в системе, предполагая, что она работает в режиме с явными потерями;
- 4) потерянную нагрузку;
- 5) долю времени, в течение которого используется четвертая линия (полагая, что используется упорядоченное искание).

Задача №А₂. Учрежденческая телефонная станция (УТС), в которую включены 200 абонентских устройств, связана с сетью общего пользования четырьмя соединительными линиями. Каждая абонентская установка в течение восьмичасового рабочего дня включается для приема трех внешних вызовов со средней длительностью занятия 2 мин каждый. Требуется определить:

- 1) величину поступающего на УТС телетрафика;
- 2) вероятность того, что два вызова поступят в систему менее, чем за 2 с;
- 3) среднее время ожидания обслуживания (при усреднении на весь ансамбль поступивших требований).

Задача №А₃. Средняя нагрузка в ЧНН, создаваемая межстанционным обменом двух коммутационных станций, равна 20 Эрл. Пусть непосредственная связь между этими станциями осуществляется по 24 каналам одной линии передачи Т1 со средним временем занятия одного канала, равным 2 мин. Какова избыточная нагрузка в ЧНН? Какова вероятность наличия очереди доступа к каналам при организации системы с ожиданием? Чему равно общее время ожидания доступа к каналу и длина очереди?

Задача №А₄. Учрежденческая телефонная станция, в которую включены 200 абонентских устройств, связана с сетью общего пользования пятью соединительными линиями.

Какова вероятность блокировки, если каждая абонентская установка в течение восьмичасового рабочего дня включается для приема трех внешних вызовов со средней длительностью занятия 2 мин при допущении, что заблокированные системой вызовы возвращаются в виде случайных повторных вызовов. Какова поступающая нагрузка? Какова обслуженная нагрузка?

Задача №А₅. Сколько портов ввода (вывода), вызываемых путем набора номера, должен иметь вычислительный центр, чтобы обслуживать 240 пользователей при ограничении вероятности блокировки до 5% в предположении, что каждый пользователь создает в среднем четыре вызова в восьмичасовой рабочий день со средней длительностью сеанса 24 мин. Если 4 пользователя остаются соединенными с центром целый день, то каково качество обслуживания остальных 236 пользователей? Какова при этом вероятность вхождения в очередь и вероятность пребывания в очереди более одной минуты?

Задача № А₆. В результате наблюдения над 32-канальным пучком межстанционных линий в течение ЧНН получены следующие статистические данные:

Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница
20 Эрл	19 Эрл	22 Эрл	19 Эрл	30 Эрл

Требуется определить:

- 1) общую вероятность блокировки;
- 2) вероятность блокировки в течение того же ЧНН, если усреднить ежедневные колебания;
- 3) среднее время ожидания при усреднении по ансамблю требований на обслуживание при средней частоте их появления 22 треб/мин, предполагая использование сети в качестве системы с ожиданием;
- 4) какие из приведенных и вычисленных параметров можно принять в качестве **исходных** для расчета сети?

Задача № А₇. Измерения нагрузки на пучке соединительных линий от УТС к центральной станции показывают, что в течение часа, когда отмечается самая большая в течение дня нагрузка, линии используются на 80%.

Какова вероятность блокировки, если пучок содержит 8 соединительных линий и предполагается, что заблокированные вызовы не возвращаются? Сколько соединительных линий нужно добавить, чтобы достичь вероятности блокировки, не превышающей 5%?

Задача № А₈. Район, охватывающий 400 абонентов, должен обслуживаться внутрирайонной автоматической телефонной станцией. Полагая, что средняя нагрузка от одного абонента равна 0,1 Эрл и что 20% вызовов являются местными (внутрирайонными) вызовами, а 80% вызовов — транзитными (к обслуживающей центральной станции), определить, какова интенсивность нагрузки в Эрлантах, поступающей на пучок соединительных линий от автоматической внутрирайонной станции к центральной станции? Сколько соединительных линий нужно иметь для обслуживания транзитной нагрузки

при 0,5%-ной блокировке? Какова величина среднего времени обслуживания местных вызовов в предположении, что на коммутаторе центральной станции ёмкостью $N=10$ организована очередь ожидания со средним временем ожидания (при усреднении по ансамблю требований на обслуживание), равным 0,2 мин?

Задача № А₉. Район, охватывающий 400 абонентов, должен обслуживаться внутрирайонной автоматической телефонной станцией. Полагая, что средняя нагрузка от одного абонента равна 0,1 Эрл и что 20% вызовов являются местными (внутрирайонными) вызовами, а 80% вызовов — транзитными (к обслуживающей центральной станции), определите число каналов концентратора, (полагая вероятность блокировки 10%), требуемых в случае, когда коммутация местных вызовов осуществляется не локально, а просто производится их концентрация с помощью абонентских многоканальных систем передачи и коммутация на центральной станции. Какова величина среднего времени обслуживания местных вызовов в предположении, что на коммутаторе центральной станции ёмкостью $N=12$ организована очередь ожидания со средним временем ожидания (при усреднении всего ансамбля требований на обслуживание), равным 0,2 мин?

Задача № А₁₀. Группа из восьми удаленных фермерских домов обслуживается четырьмя линиями связи. Допуская, что каждая из восьми семей использует свои телефонные аппараты в течение 10% ЧНН, сравните вероятности блокировки следующих конфигураций:

- 1) четыре линии коллективного пользования с двумя абонентскими установками на каждую;
- 2) система с концентрацией 8:4 (один концентратор с 8 входами и 4 выходами).

Полагая, что частота поступления вызовов от абонентов равна 0,1 выз/мин., определить среднее время пауз в разговорах для каждой конфигурации сети.

Задача № А₁₁. Учрежденческая телефонная станция обеспечивает формирование очереди и обратный автоматический вызов для доступа к исходящим линиям междугородной связи АМТС. Если в час поступает 20 требований на установление связи и если средняя продолжительность разговора равна 3 мин, сколько нужно иметь линий АМТС, чтобы обеспечить время ожидания для 90% требований меньше 1 ч? Чему равно количество требований, присутствующих при этом в системе? Какова длина очереди, обеспечивающей такое ожидание?

Задача № А₁₂. Линия связи с пропускной способностью 50 кбит/с используется для передачи 10 сообщений, каждое из которых представляет собой пуассоновский поток с интенсивностью 150 пакетов в минуту. Длины пакетов имеют экспоненциальное распределение со средней величиной 1000 бит. Для каждого сообщения найти среднее число пакетов в очереди, среднее число пакетов в системе и среднюю задержку пакета в предположении, что линия содержит 10 каналов равной пропускной способности, уплотненных во времени.

Задача № А₁₃. Линия связи с пропускной способностью 50 кбит/с используется для передачи 10 сообщений, каждое из которых представляет собой пуассоновский поток с интенсивностью 150 пакетов в минуту. Длины пакетов распределены так, что 10% пакетов имеют длину 100 бит, а остальные 1500 бит. Для каждого сообщения найти среднее число пакетов в очереди, среднее число пакетов в системе и среднюю задержку пакета в предположении, что линия содержит 10 каналов равной пропускной способности, уплотненных во времени.

Задача № А₁₄ Телефонная станция гарантирует вероятность блокировки 0,1% для 100 каналов высокого качества. Определить среднее время ожидания для всей совокупности требований на обслуживание и вероятность того, что время ожидания для абонентов, использующих данные каналы, превысит найденную величину.

Задача № А₁₅. Группа из 10 источников посылает сообщения с экспоненциально распределенными длинами по линии с пропускной способностью 1600 бит/с. Средняя длина сообщения равна 200 битам, включая заголовок, и каждый источник посылает одно сообщение каждые 40 с. Управление доступом к линии осуществляется путем концентрации на основе коммутации сообщений с неограниченной очередью. Полагая, что количество сообщений, одновременно находящихся в системе, равно 3, определите следующие показатели:

- 1) вероятность наличия очереди ожидания;
- 2) среднее время ожидания в очереди для всех поступающих вызовов;
- 3) вероятность пребывания в очереди более 12 секунд;
- 4) длину очереди ожидания;
- 5) вероятность блокировки в случае отключения механизма очереди ожидания.

ЗАДАЧИ ГРУППЫ В

Задача № В₁. Учрежденческая телефонная станция, в которую включены 200 абонентских устройств, связана с сетью общего пользования пятью соединительными линиями. Каждая абонентская установка в течение восьмичасового рабочего дня включается для приема трех внешних вызовов со средней длительностью занятия 2 мин каждый. Требуется определить:

- 1) частоту поступления вызовов в ЧНН;
- 2) вероятность того, что два вызова поступят в систему менее, чем за 3 с;
- 3) вероятность потерь в системе, предполагая, что она работает в режиме с явными потерями;
- 4) потерянную нагрузку;
- 5) долю времени, в течение которого используется пятая линия (полагая, что используется упорядоченное искание).

Задача № В₂. Измерения нагрузки на пучке из шести соединительных линий от УТС к центральной станции показывают, что в течение часа, когда отмечается самая большая в течение дня нагрузка, линии используются на 80% при средней длительности одного разговора 2 мин. Требуется определить:

- 1) величину поступающего на УТС телетрафика;
- 2) вероятность того, что два вызова поступят в систему менее, чем за 1 с;
- 3) вероятность потерь в системе, предполагая, что она работает в режиме с явными потерями;
- 4) потерянную нагрузку;
- 5) долю времени, в течение которого используется шестая линия (полагая, что используется упорядоченное искание).

Задача № В₃. 12-канальная линия передачи используется для обслуживания нагрузки, поступающей от удаленного концентратора на центральную станцию. Сколько абонентов, создающих нагрузку каждый по 9,5 CCS, может обслужить концентратор при 0,5%-ной блокировке. Сравните результаты для случая конечного и бесконечного большого числа источников.

Примечание: CCS-альтернативная единица измерения телетрафика:

1 Эрл = 36 CCS (гектосекундозанятий в час).

Задача № В₄. Средняя нагрузка в ЧНН, создаваемая межстанционным обменом двух коммутационных станций, равна 19 Эрл. Пусть непосредственная связь между этими станциями осуществляется по N каналам одной линии передачи со средней частотой занятия одного канала, равной 8,6 выз/мин.и вероятностью блокировки 0,5%. Предполагается, что доступ к каналам осуществляется системой с ожиданием. Какова вероятность наличия очереди?

Чему равно среднее время обслуживания одного канала? Чему равны общее время ожидания доступа к каналу и длина очереди?

Задача № В₅. Какой должна быть ёмкость учрежденческой телефонной станции (УТС) для обслуживания 30 пользователей при ограничении вероятности блокировки до 1% в предположении, что каждый пользователь создает в среднем сорок вызовов в восьмичасовой рабочий день со средней длительностью сеанса 6 мин. Если три пользователя остаются соединенными с центром целый день, то каково качество обслуживания остальных 27 пользователей? Какова при этом вероятность вхождения в очередь и среднее время ожидания в очереди для всех поступающих вызовов?

Задача № В₆. 24-канальный пучок разделяется на два пучка по 12 односторонних соединительных линий в каждом направлении. (Односторонняя соединительная линия — это такая линия, которая может быть занята только с одного конца.) Какова интенсивность нагрузки в Эрлангах, которую может обслужить эта система при 0,5%-ной блокировке? Какую интенсивность нагрузки в Эрлангах может обслужить система, если все 24 соединительные линии — двусторонние (то есть каждая соединительная линия может быть занята с любого конца)? Какова при этом вероятность вхождения в очередь и среднее время ожидания в очереди для всех поступающих вызовов, если среднее время обслуживания одного канала составляет 1 мин ?

Задача № В₇. Измерения нагрузки на пучке соединительных линий от УТС к центральной станции показывают, что в течение часа, когда отмечается самая большая в течение дня нагрузка, линии используются на 80%. Какова вероятность блокировки, если пучок содержит 8 соединительных линий и предполагается, что заблокированные вызовы возвращаются в форме случайных повторных вызовов? Сколько соединительных линий нужно добавить, чтобы достичь вероятности блокировки, не превышающей 5% ?

Задача № В₈. Район, охватывающий 400 абонентов, должен обслуживаться внутрирайонной автоматической телефонной станцией. Полагая, что средняя нагрузка от одного абонента равна 0,1 Эрл и что 80% вызовов являются местными (внутрирайонными) вызовами, а 20% вызовов — транзитными (к обслуживающей центральной станции), определите число каналов концентратора, требуемых в случае, когда коммутация местных вызовов осуществляется не локально, а просто производится их концентрация с вероятностью блокировки 15% с помощью абонентских многоканальных систем передачи и коммутация на центральной станции. Какова величина среднего времени обслуживания местных вызовов в предположении, что на

коммутаторе центральной станции ёмкостью $N=50$ организована очередь ожидания со средним временем ожидания (при усреднении всего ансамбля требований на обслуживание), равным 0,2 мин?

Задача № В₉. Две линии связи обслуживают группу из шести удаленных домов. Допуская, что каждая из шести семей использует свои телефонные аппараты в течение 10% ЧНН, сравните вероятности блокировки следующих конфигураций:

- 1) две линии коллективного пользования с тремя абонентскими установками на каждую;
- 2) система с концентрацией 6:2 (один концентратор с 6 входами и 2 выходами).

Полагая, что частота поступления вызовов от абонентов равна 0,1 выз/мин, определить среднее время пауз в разговорах для каждой конфигурации сети.

Задача № В₁₀. Процессор располагает 50% своего времени для обслуживания требований: время работы процессора разбито на 500-миллисекундные временные интервалы (т. е. 500 мс отводится на обработку вызовов, а следующие 500 мс на вспомогательные операции и т. д.). Если каждое требование занимает 50 мс времени обработки, то какую интенсивность поступления вызовов можно допустить, когда только 1 % требований на обслуживание задерживается больше, чем на 1 с?

Примечание к задаче: при решении допустимо использовать аппроксимацию вида: $\ln(x) \approx (x-1) - (x-1)^2/2$.

Задача № В₁₁. Группа из 100 источников посылает сообщения с экспоненциально распределенными длинами по линии с пропускной способностью 1200 бит/с. Средняя длина сообщения равна 200 битам, включая заголовок, и каждый источник посылает одно сообщение каждые 20 с. Управление доступом к линии осуществляется путем концентрации на основе коммутации сообщений с неограниченной очередью. Определите следующие показатели:

- 1) вероятность вхождения в очередь;
- 2) среднее время ожидания в очереди для всех поступающих вызовов;
- 3) вероятность пребывания в очереди более одной секунды;
- 4) использование линии передачи.

Задача № В₁₂. Линия связи с пропускной способностью 50 кбит/с используется для передачи 10 сообщений, каждое из которых представляет собой пуассоновский поток с интенсивностью 250 пакетов в

минуту в 5 сообщениях и 50 пакетов в минуту в оставшихся 5 сообщениях. Длины пакетов имеют экспоненциальное распределение со средней величиной 1000 бит. Для каждого сообщения найти среднее число пакетов в очереди, среднее число пакетов в системе и среднюю задержку пакета в предположении, что линия содержит 10 каналов равной пропускной способности, уплотненных во времени.

Задача № В₁₃. Линия связи с пропускной способностью 50 кбит/с используется для передачи 10 сообщений, каждое из которых представляет собой пуассоновский поток с интенсивностью 250 пакетов в минуту в 5 сообщениях и 50 пакетов в минуту в оставшихся 5 сообщениях. Длины пакетов распределены так, что 10% пакетов имеют длину 100 бит, а остальные 1500 бит. Для каждого сообщения найти среднее число пакетов в очереди, среднее число пакетов в системе и среднюю задержку пакета в предположении, что линия содержит 10 каналов равной пропускной способности, уплотненных во времени.

Задача № В₁₄. Учрежденческая АТС ёмкостью 96 каналов обеспечивает среднее качество обслуживания с вероятностью блокировки вызовов $B=1\%$. Определить частоту поступления требований на обслуживание, если средняя длина очереди на обслуживание содержит 0,3 места ожидания при средней величине времени ожидания в очереди 0,8 минут.

Задача № В₁₅. Коммутатор сообщений с неограниченной очередью концентрирует нагрузку, создаваемую группой источников, и посылает сообщения с экспоненциально распределенными длинами по линии. Средняя длина сообщения равна 200 битам, включая заголовок, и каждый источник посылает одно сообщение каждые 20 с. Управление доступом к линии осуществляется путем концентрации на основе коммутации сообщений с неограниченной очередью. Вероятность наличия очереди равна 0,8. Вероятность пребывания в очереди более 2,3 секунд составляет 0,08. Определите следующие показатели:

- 1) число источников в группе;
- 2) среднее время ожидания в очереди для всех поступающих вызовов;
- 3) пропускную способность линии передач;
- 4) коэффициент использования линии передачи.

3.2.2 Методические указания к выполнению контрольной работы

Теория телетрафика и примеры с решениями, необходимые и достаточные для выполнения контрольной работы, приведены в [1, глава 3].

3.3 Контрольная работа №3

3.3.1 Задание

Требуется ответить на тестовые вопросы. При ответе следует учесть, что верными могут быть несколько или даже все предложенные варианты ответов.

3.4 Контрольная работа №4.

Методы маршрутизации в сетях связи

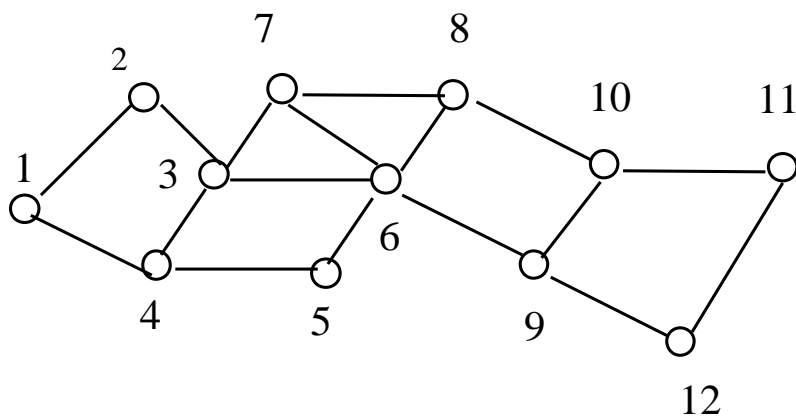
3.4.1 Задание

- 1) Найти и построить кратчайший путь в заданной сети связи, пользуясь указанным в варианте задания методом (волновым методом, методом рельефов и с помощью алгоритма Дейкстры).
- 2) Повторить логику предыдущего пункта для сети с неисправным (или перегруженным) участком, указанным в задании.
- 3) Варианты задания приведены в таблице 3.2.
- 4) В каждом варианте в качестве неисправного участка сети рассматривать предпоследний участок кратчайшего маршрута, найденного в пункте 1 задания.
- 5) При использовании алгоритма Дейкстры метрику пути I_{ik} , расположенного между узлами "i" и "k", принять равной $(i+k)$, например, между узлами №3 и №12 расположено ребро графа с метрикой 15.

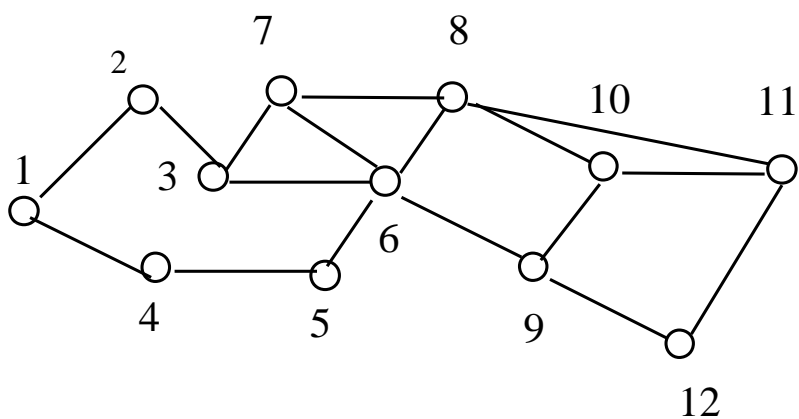
Таблица 3.2

Номер варианта схемы сети	Номер варианта задания								
	Метод рельефов			Волновой метод			Алгоритм Дейкстры		
Вариант 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вариант 2	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Вариант 3	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Вариант 4	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Вариант 5	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Вариант 6	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Вариант 7	55	56	57	58	59	60	61	62	63
Вариант 8	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Вариант 9	73	74	75	76	77	78	79	80	81
Вариант 10	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Исходящий узел	1	2	1	1	2	1	1	2	1
Входящий узел	12	11	10	12	11	10	12	11	10

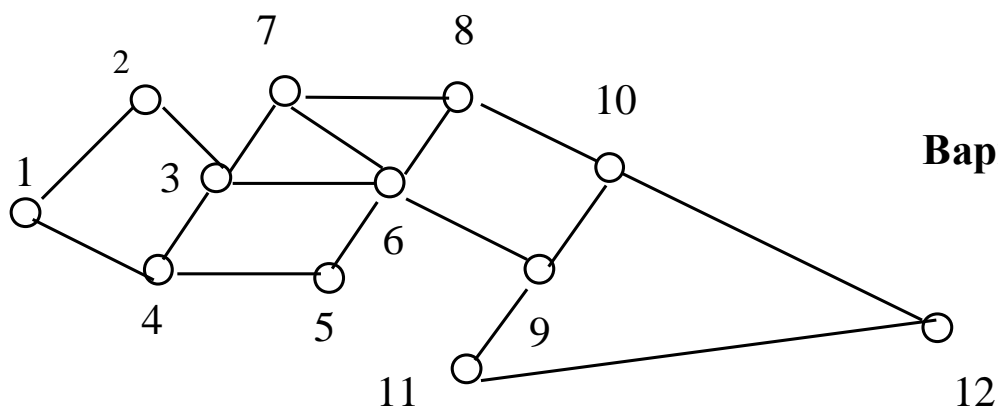
Схемы сетей, соответствующих вариантам задания



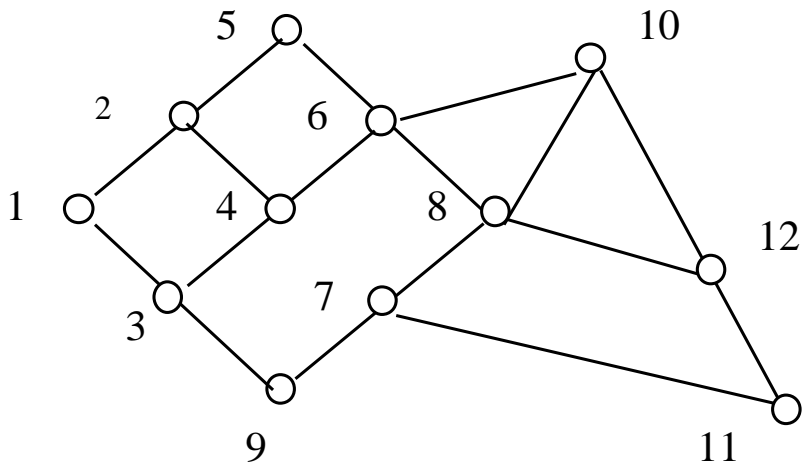
Вариант №1



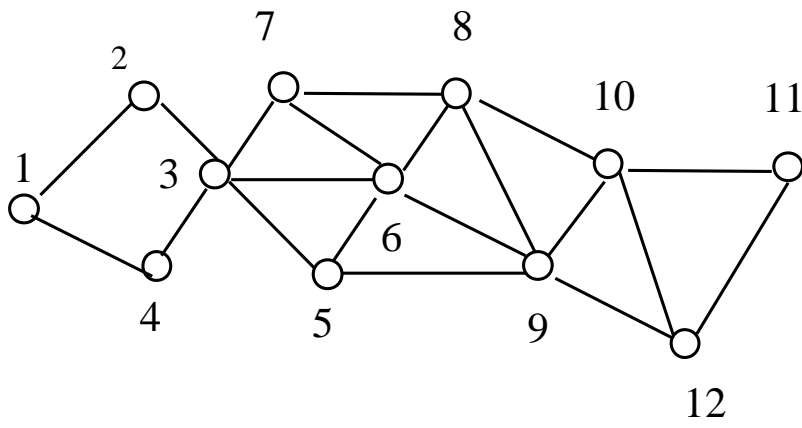
Вариант №2



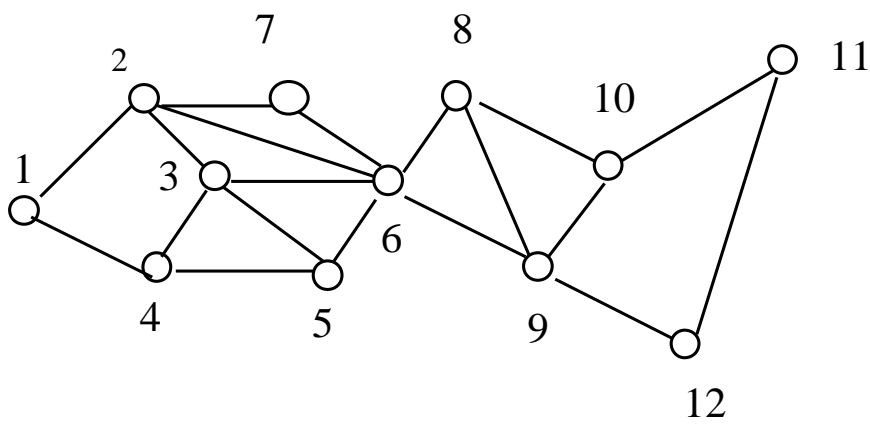
Вариант №3



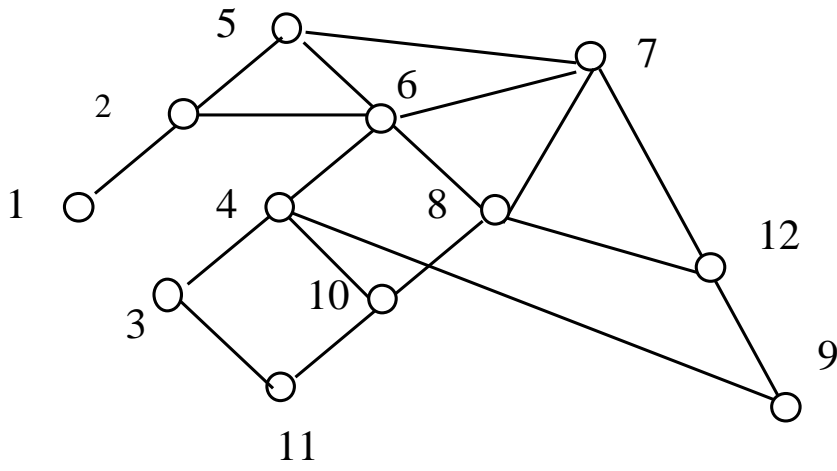
Вариант №4



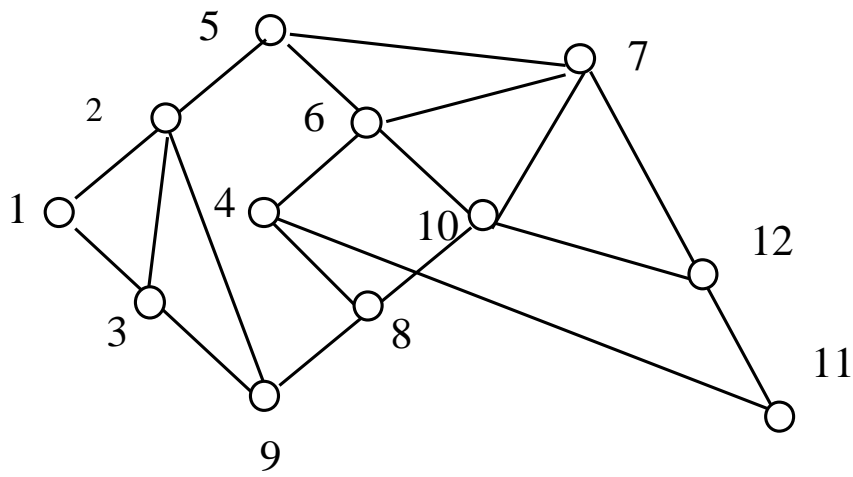
Вариант №5



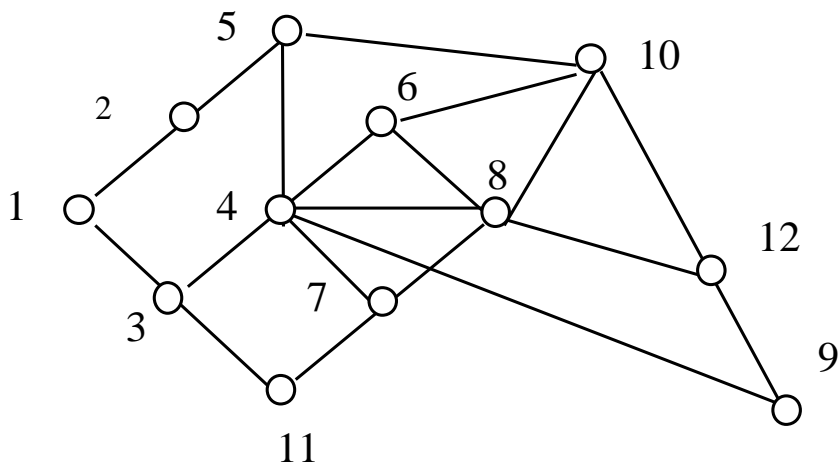
Вариант №6



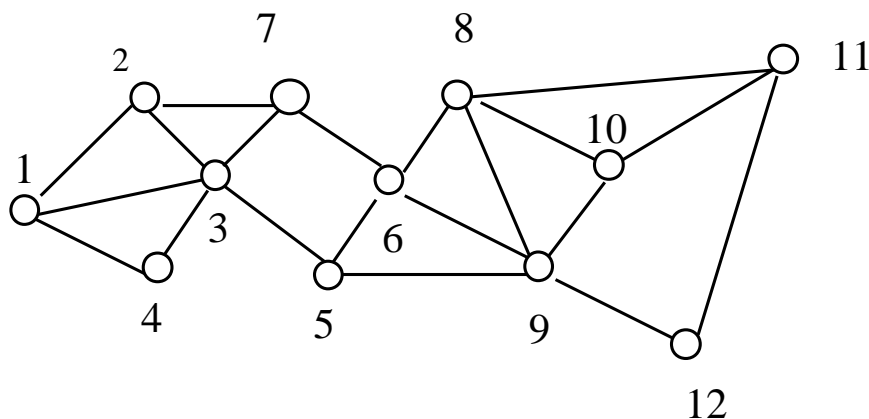
Вариант №7



Вариант №8



Вариант №9



Вариант №10

3.4.2 Методические указания к выполнению контрольной работы

3.4.2.1 План распределения информации [2]

Для передачи информации от одного узла сети к другому может использоваться один из нескольких путей, проходящих через различные узлы (Уз). При этом порядок выбора таких путей определяется так называемым планом распределения информации. **Планом распределения информации i -го узла сети связи называется заданная очередность выбора исходящих направлений из Уз $_i$ ко всем остальным узлам сети связи.** Если задан план распределения информации для каждого узла, то говорят, что задан план распределения информации для всей сети связи.

Пусть на некоторой части сети связи (рис. 3.1) необходимо передавать определенные потоки информации, в том числе поток φ_{AE} от Уз $_A$ к Уз $_E$. Примем, что для передачи этого потока из Уз $_A$ можно использовать как ветвь β_{AE} , так и ветви β_{AB} и β_{AC} . Очевидно, в последних двух случаях передача информации будет установлена через транзитные узлы У Уз $_B$ и Уз $_C$. Таким образом, от Уз $_A$ к Уз $_E$ можно передавать информацию по путям различной длины. Определяя длину пути числом последовательно соединенных в нем каналов, заметим, что *кратчайшим путем передачи информации* от узла A к узлу E будет путь, проходящий через ветвь β_{AE} . Назовем **ветвью первого выбора (направлением первого выбора)** ветвь, которая входит хотя бы в один путь с минимальной длиной (т. е. **кратчайший путь**). Если же ветвь входит в какой-либо путь, второй по длине, то ее будем называть **ветвью (направлением) второго выбора**. Аналогично можно определить ветви третьего, четвертого и т. д. выборов. Легко видеть, что для рассматриваемого примера ветвь β_{AE} является ветвью первого выбора (1); ветвь β_{AB} — ветвью

второго выбора (2), а ветвь β_{AC} — ветвью третьего выбора (3). Аналогично распределяются ветви и на остальных узлах. На рис. 3.1 эти цифры указаны в кружках.

В качестве *критерия длины пути на коммутируемых сетях связи* могут служить не только число транзитных участков, но и длина пути (км), надежность пути и т. п.; на сетях коммутации сообщений и пакетов одним из основных критериев длины пути является задержка в передаче сообщения или пакета на этом пути с учетом их задержки в памяти транзитных узлов.

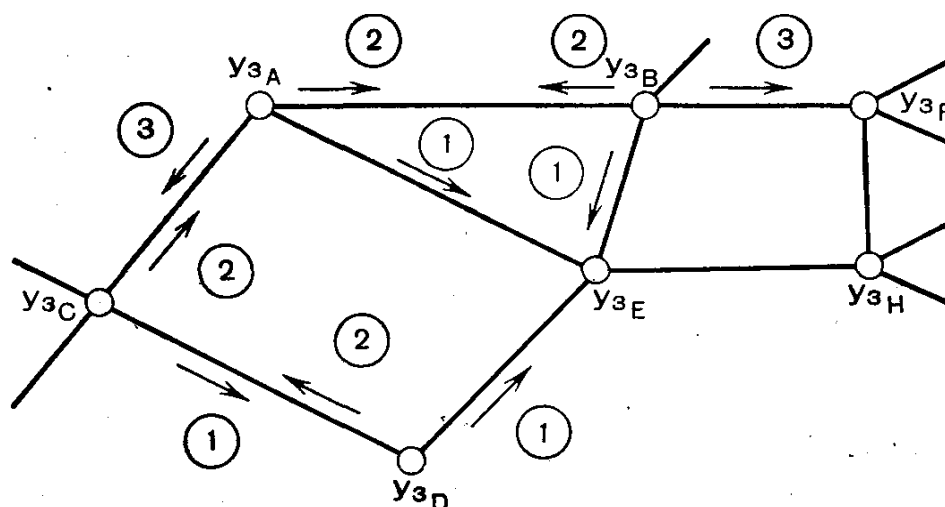


Рис. 3.1 Сеть связи

Порядок выбора исходящих направлений (ветвей из $Уз_i$) ко всем остальным узлам сети, т. е. план распределения информации для узла, можно представить матрицей маршрутов для $Уз_i$ вида M_i .

В матрице маршрутов число столбцов равно $(N-1)$, где N — число узлов на сети (столбец в матрице M_i для узла i не отводится), а число строк — числу n соседних узлов с рассматриваемым узлом. Элемент $m_{j,r}$ указывает номер очередности выбора ветви β_i , при передаче информации к узлу r , т. е. $m_{j,r} \in \{1, 2, \dots, n\}$.

$$M_i = \begin{matrix} & UK_1 & UK_2 & \dots & UK_N \\ \beta_{i,i_1} & \left\| \begin{matrix} m_{i_1,1} & m_{i_1,2} & \dots & m_{i_1,N} \end{matrix} \right\| \\ \beta_{i,i_2} & \left\| \begin{matrix} m_{i_2,1} & m_{i_2,2} & \dots & m_{i_2,N} \end{matrix} \right\| \\ \vdots & \left\| \begin{matrix} \vdots & \vdots & \dots & \vdots \end{matrix} \right\| \\ \beta_{i,i_n} & \left\| \begin{matrix} m_{i_n,1} & m_{i_n,2} & \dots & m_{i_n,N} \end{matrix} \right\| \end{matrix}.$$

Так как при длительных перегрузках и повреждениях отдельных ветвей (пучков, каналов) план распределения информации может оказаться не оптимальным, т. е. не обеспечивающим реализацию максимальной пропускной способности сети, то для его

оптимизации необходимо перераспределить порядок выбора путей, т. е. осуществить коррекцию плана распределения информации.

Сеть связи, на которой осуществляется коррекция плана распределения

информации, называется **сетью связи с динамическим распределением информации** (телетрафика), а сеть, на которой план распределения информации не корректируется, — со **статическим распределением информации** (телетрафика).

Методы коррекции плана распределения информации называются динамическими методами управления телетрафиком. Система управления, обеспечивающая динамическое управление телетрафиком (т. е. реализующая динамический метод управления телетрафиком), называется **системой динамического управления**.

Системы динамического управления начинают внедряться в новые системы распределения информации. Так, система динамического управления телетрафиком, основанная на наиболее примитивном способе динамического управления (так называемом **волновом способе**), была применена во **французской военной интегральной системе связи**.

3.4.2.2 Методы выбора оптимального плана распределения информации [2]

Как было отмечено, порядок выбора исходящих направлений зависит от длины рассматриваемых путей. **Исходящее направление из рассматриваемого узла связи, совпадающее с кратчайшим путем, относится к направлению первого выбора.** Исходящее направление, совпадающее с путем, длина которого больше длины кратчайшего пути, но меньше всех остальных путей, относится к направлению второго выбора и т. д. Если два или более исходящих направлений совпадают по длине, то очередность выбора любого из них устанавливается произвольно, например, по приписанным им номерам.

Все существующие методы динамического управления телетрафиком, т. е. методы коррекции матрицы маршрутов, можно разделить на две группы: **детерминированные** и **статистические**. В свою очередь, и детерминированные, и статистические методы делятся на **разовые** и **групповые**.

Разовые детерминированные методы позволяют получать матрицу маршрутов только для одной заявки, тогда как групповые — для группы заявок. При этом матрицы маршрутов вычисляются применительно к ситуации на сети, сложившейся на данный момент времени, без учета предшествующих ситуаций. **Статистические методы** позволяют корректировать матрицы маршрутов на основе статистики о возможной длине пути в том или ином направлении, полученной в результате обслуживания предыдущих заявок. При этом разовые статистические методы позволяют корректировать матрицу маршрутов после обслуживания каждой заявки, а

групповые — после обслуживания нескольких заявок. Рассмотрим наиболее характерные для этих групп методы динамического управления.

3.4.2.3 Волновой метод [2]

Волновой метод относится к группе **разовых детерминированных методов** получения плана распределения информации. Он состоит в том, что при поступлении на Уз_і заявки (вызова) на передачу информации по сети передаются **три «волны»** сигналов: **поисковая, ответная и заключительная.**

Поисковая волна сигналов, которая при поступлении заявки **посылается с Уз_і** и передается всеми узлами сети, служит для отыскания входящего узла Уз_ј (узла назначения).

Ответная волна сигналов посылается **входящим узлом ј** после получения «поискового» сигнала и транслируется всеми узлами сети. Эта волна сигналов служит для маркировки пути между исходящими и входящими узлами; *при ее прохождении прекращается передача поисковых сигналов.*

Заключительная волна сигналов посылается **исходящим узлом** после получения им «ответного» сигнала. В отличие от сигналов поисковой и ответной волн, сигналы заключительной волны делятся на два типа. **Первый тип** сигналов волны З_Е обеспечивает или установление соединения по кратчайшему пути на коммутируемой сети, или передачу сообщения (пакета) по кратчайшему пути на сети коммутации сообщений (пакетов). **Второй тип** сигналов волны З_Е распространяется к остальным узлам сети и служит для стирания в ЗУ таких узлов всей информации, относящейся к поиску входящего Уз, при рассматриваемой передаче информации.

Для выбора пути передачи информации на каждом узле должна храниться следующая информация: номер входящего узла, вид сигнала (поисковый, ответный, заключительный), номер и другие характеристики исходящего узла.

Указанный метод требует передачи при каждом вызове по всем направлениям сети достаточно большого объема служебной информации, причем объем служебной информации возрастает в моменты увеличения загрузки сети и отсутствует при отсутствии вызовов. Это приводит к дополнительной загрузке каналов сети, что особенно ощутимо на сетях, использующих для передачи информации низкоскоростные каналы, где перегрузка сети может оказаться значительной.

3.4.2.4 Метод рельефов [2]

Представим сеть связи в виде графа связи, на каждой дуге которого укажем стрелки, соответствующие исходящим из вершины (узла связи) ребрам (пучкам). На сети выделим один узел, пусть $У_{зА}$, по отношению к которому сформируем так называемый «рельеф». Пусть стрелкам, исходящим из узлов, которые являются соседними с $У_{зА}$, соответствует цифра 1, **стрелкам, исходящим из узла, соседнего с узлом, от которого отходит хотя бы одна стрелка с цифрой 1, будет соответствовать цифра 2 и т. д.** до тех пор, пока не отметим все стрелки, как это изображено на рис. 3.3. **Цифры (функции) около стрелок называются А-высотами.** При этом около стрелок, исходящих из $У_{зА}$, цифры (А-высоты) А-рельефа не указываются. После этого будем говорить, что сформирован А-рельеф.

Указанным способом легко сформировать рельеф для каждого узла. Говорят, что дуга имеет А-высоту s , если соответствующая ей функция в А-рельефе принимает значение s . Таким образом, каждая дуга имеет $(N-1)$ высот, где N — число узлов на сети.

Поиск кратчайшего пути по рельефу, например к $У_{зА}$ из любого другого узла, состоит в отыскании в каждом промежуточном узле дуги с исходящей стрелкой, которой соответствует минимальная цифра. Пусть необходимо передать информацию из $У_{зК}$ в $У_{зА}$. Тогда вызов из $У_{зК}$ направляется по дуге, имеющей минимальную А-высоту, например по $\beta_{КЕ}$. Из $У_{зЕ}$ вызов передается по $\beta_{ЕД}$, из $У_{зД}$ — по $\beta_{ДА}$, т. е. в каждом узле коммутации выбирается дуга, имеющая минимальную А-высоту. Очевидно, что такой метод обеспечит передачу информации по оптимальному пути.

$$P_i = \begin{matrix} \beta_{i,i_1} \\ \vdots \\ \beta_{i,i_n} \end{matrix} \left\| \begin{matrix} r_{i_1,1} \cdot r_{i_1,N} \\ \vdots \\ r_{i_n,1} \cdot r_{i_n,N} \end{matrix} \right\|$$

Рельефы сети могут быть представлены в виде матриц рельефов. При этом для каждого узла i должна быть составлена своя матрица рельефов P_i , в которой элемент $r_{j,k}$ соответствует k -высоте дуги β_{ij} , исходящей из $У_{зi}$.

Таким образом, метод выбора кратчайшего пути фактически состоит в выполнении лишь двух операций: операции формирования рельефа и операции поиска кратчайшего пути. Если поиск кратчайшего пути начинается с момента поступления заявки на выбор пути, то операция формирования рельефа осуществляется всегда в начальный момент пуска системы, а в остальное время может выполняться одним из следующих двух способов: в момент удаления и восстановления дуги или периодически с той или иной частотой повторения. При этом в первом случае волна сигналов коррекции

рельефов передается только по той части сети, в которой необходимо изменить рельеф. Наибольшее значение цифры, соответствующей стрелкам, может быть ограничено числом n (т. е. все числа, большие n , заменяются на n). Число n может быть, например, ограничено числом возможных транзитных узлов. Поэтому по сравнению с волновым методом здесь существенно сокращается число передаваемой по сети служебной информации.

В период между коррекциями рельефов в сети может существовать неправильный рельеф. Выбирая необходимую частоту обновления рельефа, которая для реальных сетей связи может быть в пределах 0,5—5 мин, можно добиться в среднем достаточно высокой степени оптимизации плана распределения информации.

3.4.2.5 Описание алгоритма Дейкстры

Алгоритм реализуется следующим образом:

Шаг 1. Выбираем вершину (РАТС) и находим вершины, смежные с ней. Присваиваем каждой найденной вершине число $d(x)$, равное длине кратчайшего пути из "s" в "x", включающего только *окрашенные* (то есть, отмеченные) вершины. Полагаем $d(s)=0$ и $d(x)=\infty$ для всех "x", отличных от "s". Отмечаем вершину "s" и полагаем $y=s$ (y - *последняя из окрашиваемых вершин*).

Шаг 2. Для каждой неотмеченной вершины "x" пересчитываем величину $d(x)$ следующим образом:

$$d(x) := \min(d(x), d(y)+a(y, x)). \quad (1)$$

Если $d(x)=\infty$ для всех неотмеченных вершин "x", процедура алгоритма заканчивается: в исходном графе отсутствуют пути из вершины "s" в неотмеченные вершины. В противном случае окрашиваем ту из вершин "x", для которой величина $d(x)$ является наименьшей. Кроме того, отмечаем дугу, ведущую в выбранную на данном шаге вершину "x" (для этой дуги достигается минимум в соответствии с выражением (1)). Полагаем $y=x$.

Шаг 3. Если $y=t$, заканчиваем процедуру: кратчайший путь из вершины "s" в вершину "t" найден. В противном случае переходим к шагу 2.

3.4.3 Примеры решения (схематичные)

Пример 1

Дано: схема сети рис.3.2. с исходящим узлом А и входящим Е.

Требуется найти кратчайший путь из А в Е волновым методом.

Решение

Предполагая единичную задержку в узле, сигналы **поисковой** волны от Уз_А к Уз_Е (сигналы П_Е) распространяются так, как показано на рис. 3.2а. При этом обозначение П_Е(t₀) означает начальный момент (пуск) сигналов поисковой волны П_Е а П_Е(t_i) - i-й момент прохождения сигналов волны П_Е.

В запоминающем устройстве (ЗУ) узла фиксируется только тот сигнал волны П_Е, который пришел раньше других. При одновременном поступлении сигналов П_Е с двух и более направлений фиксируется один из них.

Процесс прохождения сигналов **ответной** волны О_Е аналогичен процессу прохождения сигналов волны П_Е и показан на рис. 3.2б. При этом начальный

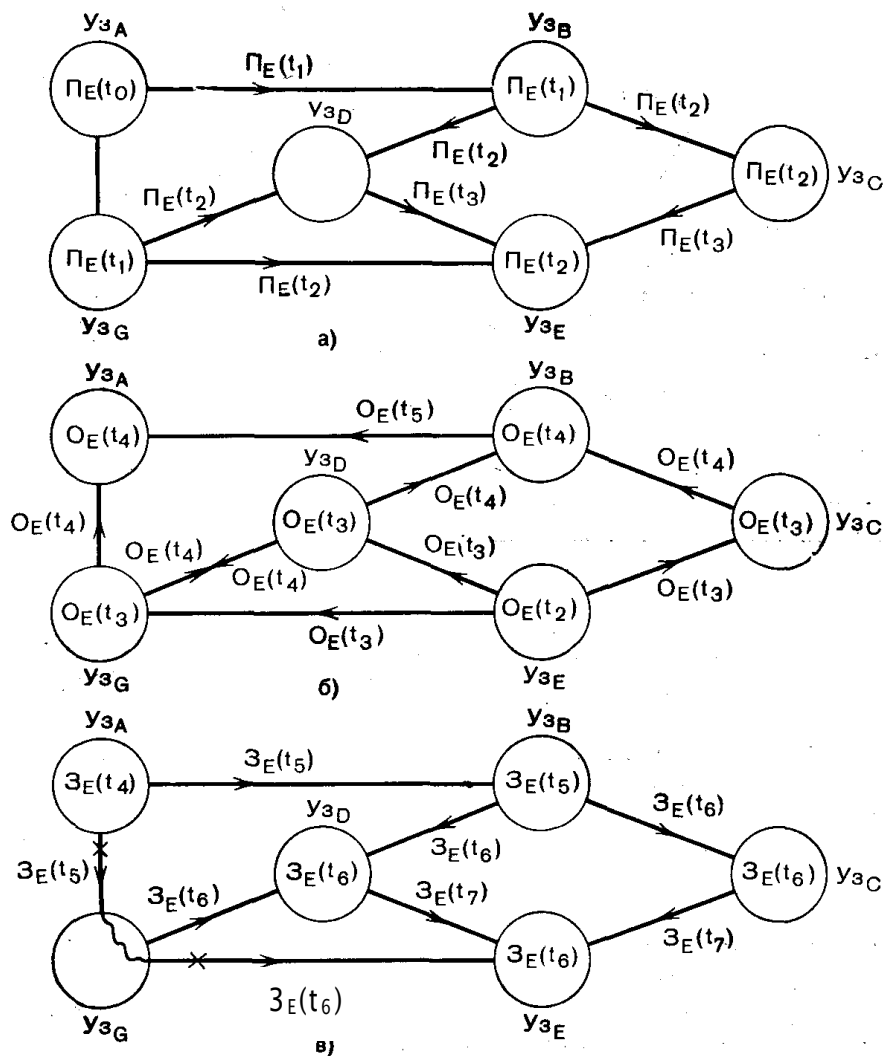


Рис. 3.2 Волновой метод

момент (пуск) волны O_E совпадает с моментом поступления в $У_{3E}$ первого сигнала волны Π_E . В нашем случае - это момент t_2 .

Процесс прохождения сигналов **заключительной** волны $З_E$ показан на рис. 3.2в. При этом начальный момент (пуск) заключительной волны $З_E$ совпадает с моментом поступления в $У_{3A}$ первого сигнала волны O_E . Заключительная волна **первого типа** указывает искомый **кратчайший путь**. В примере таким путем является путь $\mu_{AE} - (У_{3A}, У_{3G}, У_{3E})$; стрелки, указывающие направление прохождения сигналов волны $З_E$ по этому пути, отмечены крестиком.

Пример 2

Дано: схема сети рис.3.3. с исходящим узлом F и входящим A.

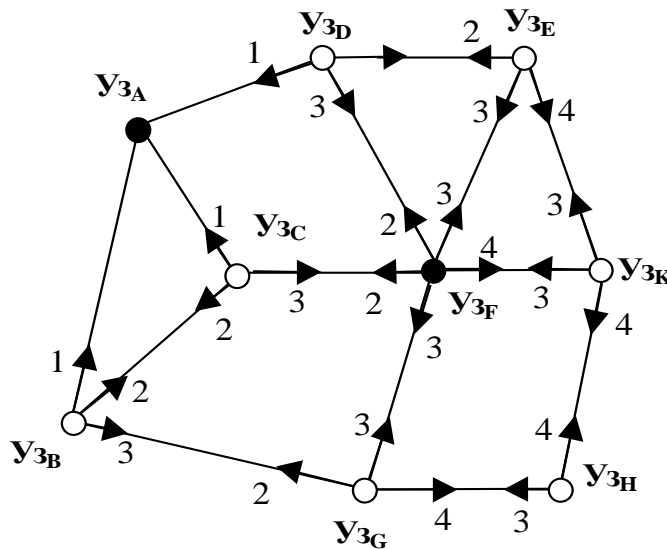


Рис.3.3 - Метод рельефов

Требуется найти кратчайший путь из $У_{3F}$ в $У_{3A}$ методом рельефов.

Решение

Этап 1. Обозначив в заданной схеме все необходимые "высоты" узлов, получим матрицу рельефов \mathbf{P}_F для исходящего узла F согласно методике, изложенной выше (параграф 3.4.2.4). Поскольку входящим узлом в данной

$$P_F = \begin{matrix} & A & \dots \\ \beta_{FC} & \left\| \begin{matrix} 2 & \dots \\ 2 & \dots \\ 3 & \dots \\ 4 & \dots \\ 3 & \dots \end{matrix} \right. \\ \beta_{FD} & & \\ \beta_{FE} & & \\ \beta_{FK} & & \\ \beta_{FG} & & \end{matrix}, \quad M_F = \begin{matrix} & A & \dots \\ \beta_{FC} & \left\| \begin{matrix} 1 & \dots \\ 2 & \dots \\ 3 & \dots \\ 5 & \dots \\ 4 & \dots \end{matrix} \right. \\ \beta_{FD} & & \\ \beta_{FE} & & \\ \beta_{FK} & & \\ \beta_{FG} & & \end{matrix}.$$

задаче является узел A, в матрице \mathbf{P}_F достаточно заполнить лишь один столбец, соответствующий данному узлу. От матрицы рельефов легко перейти к матрице маршрутов M_F . Согласно этой матрице кратчайший путь из узла F к узлу A на первом этапе пролегает через узел C.

Если в сети, изображенной на рис. 3.3, вышла из строя какая-либо ветвь, тогда сформированной рельеф будет неправильным. Чтобы сделать его правильным, необходима коррекция, которая может быть выполнена так же, как и операция его формирования.

Этап 2. Поскольку к узлу С примыкают три ветви, матрицы рельефов P_C и маршрутов M_C для этого узла имеют каждая по три строки:

$$P_C = \begin{matrix} & A \dots \\ \beta_{CB} 2 & \dots \\ \beta_{CA} 1 & \dots \\ \beta_{CF} 3 & \dots \end{matrix}, \quad M_C = \begin{matrix} & A \dots \\ \beta_{CB} 2 & \dots \\ \beta_{CA} 1 & \dots \\ \beta_{CF} 3 & \dots \end{matrix}.$$

Таким образом, кратчайший маршрут замыкается на входящий узел А через дугу СА.

Следует отметить, что найденный кратчайший путь $\mu_{FA} : (U_{zF}, U_{zC}, U_{zA})$ не является единственным. Изучая матрицу P_F , найденную на первом этапе, замечаем, что из узла F существует альтернативный путь по дуге FD к узлу D. На втором этапе этот путь продолжается по дуге DA до узла А.

Пример 3

Дано: схема сети рис.3.4 с исходящим узлом "s" и входящим "t".

Требуется найти кратчайший путь из "s" в "t" с помощью алгоритма Дейкстры.

Решение

Шаг 1. Окрашена только вершина "s". Метрика исходящего узла равна нулю $d(s)=0$, а для всех вершин "x", не совпадающих с "s", метрики равны $d(x)=\infty$.

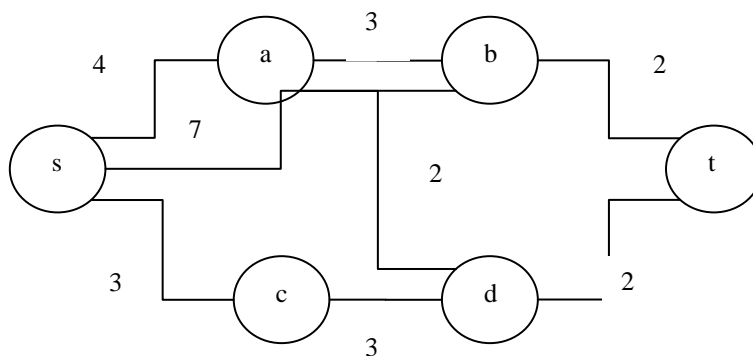


Рис. 3.4

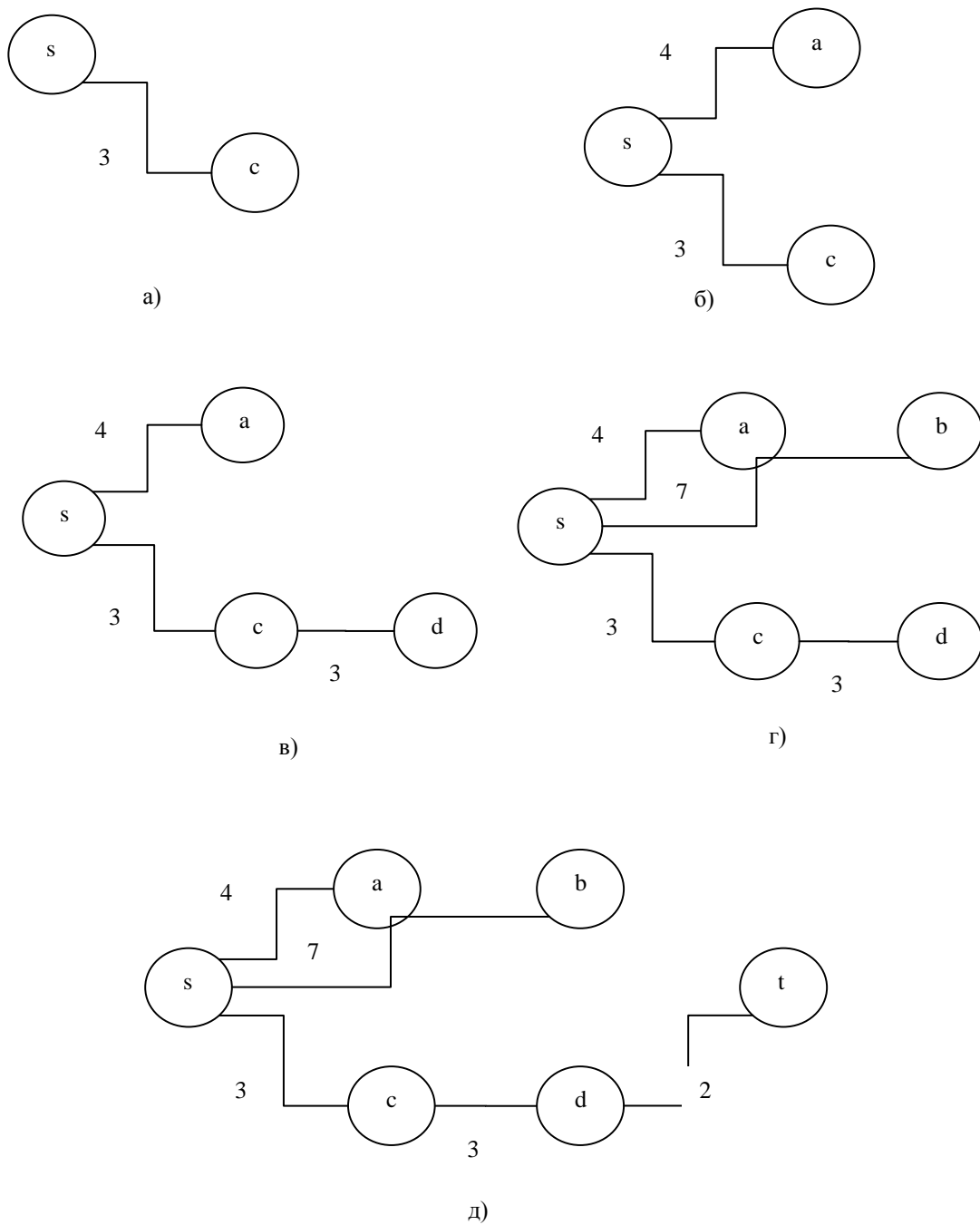


Рис. 3.5- Растущее ориентированное дерево кратчайших расстояний

Шаг 2 ($y = s$).

$$d(a) := \min(d(a), d(s)+a(s, a)) = \min(\infty, 0+4) = 4,$$

$$d(b) := \min(d(b), d(s)+a(s, b)) = \min(\infty, 0+7) = 7,$$

$$d(c) := \min(d(c), d(s)+a(s, c)) = \min(\infty, 0+3) = 3,$$

$$d(d) := \min(d(d), d(s)+a(s, d)) = \min(\infty, 0+\infty) = \infty,$$

$$d(t) := \min(d(t), d(s)+a(s, t)) = \min(\infty, 0+\infty) = \infty.$$

Поскольку величина $d(c)=3$ является минимальной из величин $d(a)$, $d(b)$, $d(c)$, $d(d)$ и $d(t)$, то вершина "с" окрашивается. Окрашивается также и дуга (s,c) (рис.3.5 а).

Шаг 3. Поскольку вершина "t" остается неокрашенной, осуществляется переход к шагу 2.

Шаг 2 ($y = c$)

$$d(a) := \min(d(a), d(c)+a(c, a)) = \min(4, 3+\infty) = 4,$$

$$d(b) := \min(d(b), d(c)+a(c, b)) = \min(7, 3+\infty) = 7,$$

$$d(d) := \min(d(d), d(c)+a(c, d)) = \min(\infty, 3+3) = 6,$$

$$d(t) := \min(d(t), d(c)+a(c, t)) = \min(\infty, 3+\infty) = \infty.$$

Поскольку величина $d(a)=4$ является минимальной из величин $d(a)$, $d(b)$, $d(d)$ и $d(t)$, то вершина "a" окрашивается. Также окрашивается и дуга (s,a), которая определяет величину $d(a)$. Текущее дерево кратчайших путей теперь состоит из дуг (s,c) и (s,a) (рис.3.5 б).

Шаг 3. Поскольку вершина "t" остается неокрашенной, осуществляется переход к шагу 2.

Шаг 2 ($y = a$)

$$d(b) := \min(d(b), d(a)+a(a, b)) = \min(7, 4+3) = 7,$$

$$d(d) := \min(d(d), d(a)+a(a, d)) = \min(6, 4+2) = 6,$$

$$d(t) := \min(d(t), d(a)+a(a, t)) = \min(\infty, 4+\infty) = \infty.$$

Поскольку величина $d(d)=4$ является минимальной из величин $d(b)$, $d(d)$, и $d(t)$, то вершина "d" окрашивается. Можно считать, что величину $d(d)$ определяют как дуга (c,d), так и дуга (a,d). Поэтому можно окрасить любую из этих дуг. Окрасим, например, дугу (c,d). Текущее дерево кратчайших путей теперь состоит из дуг (s,c), (s,a) и (s,d) (рис.3.5 в).

Шаг 3. Поскольку вершина "t" остается неокрашенной, осуществляется переход к шагу 2.

Шаг 2 ($y = d$)

$$d(b) := \min(d(b), d(d)+a(d, b)) = \min(7, 6+\infty) = 7,$$

$$d(t) := \min(d(t), d(d)+a(d, t)) = \min(\infty, 6+2) = 8.$$

Поскольку величина $d(b) = 7 = \min(d(b), d(t))$ меньше величины $d(t)$, то вершина "b" окрашивается. Так же окрашивается и дуга (s, b), которая определяет величину $d(b)$. Текущее дерево кратчайших путей теперь состоит из дуг (s,c), (s,a), (c,d) и (s,b) (рис.3.5 г).

Шаг 3. Поскольку вершина t остается неокрашенной, осуществляется переход к шагу 2.

Шаг 2 ($y = b$)

$$d(t) := \min(d(t), d(b)+a(b, t)) = \min(8, 7+2) = 8.$$

Итак, вершина "t" наконец-то окрашивается. Вместе с нею окрашивается дуга (d,t), определяющая величину $d(t)$. Окончательно построенное дерево кратчайших путей состоит из дуг (s,c), (s,a), (c,d), (s,b) и (d,t) (рис.3.5 д).

Кратчайший путь, соединяющий вершину "s" с вершиной "t", состоит из дуг (s,c), (c,d) и (d,t) и имеет длину $3+3+2=8$. Это не единственный кратчайший путь между вершинами "s" и "t".

Список использованной литературы

1. Винокуров В.М. Сети связи и системы коммутации. [Электронный ресурс]: учеб. пособие /Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, ISBN 5-86889-215-1, 2006. – 304 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/694>.
2. Винокуров В.М. Сети связи и системы коммутации. в 2-х частях: Учебное пособие.-Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2005.-ч.1, 244 с; ч.2, 137 с.
3. Сети ЭВМ. Под ред. акад. В.М.Глушкова. М.: "Связь", 1977.