

# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Б. Локтионова  
« 15 » 02 2018 г.



## СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СЕТЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ТОПОЛОГИИ

Методические указания

по подготовке и проведению практического занятия для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем»

Курск 2018

УДК 004.716

Составители: А. А. Гуламов, Е. С. Маклаков

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
профессор кафедры КПиСС *В.Г. Андронов*

**Статические и динамические модели сетей различной топологии:** методические указания по подготовке и проведению практического занятия / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.А. Гуламов, Е.С. Маклаков. - Курск, 2017. – 18 с.: ил. 8, табл. 2. – Библиогр.: с. 18.

Методические указания по подготовке и проведению практического занятия содержат теоретические сведения о статических и динамических моделях сетей различной топологии, применяемых при работе с инфокоммуникационными сетями и системами.

Полученные знания в результате проведения занятия дают возможность сформировать целостную картину информационного взаимодействия в современных телекоммуникационных системах.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы дисциплины «Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем», рекомендованной к применению в образовательном процессе для обучения студентов по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» на заседании кафедры КПиСС.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем», а также для студентов других направлений подготовки в области информационных технологий в системе высшего образования.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 15.02.18. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 0,9. Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 100 экз. Заказ. 1938. Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

1 Цели работы.....	4
2 Краткие теоретические сведения.....	4
3 Основные топологии телекоммуникационных сетей.....	13
4 Задание на практическую работу.....	17
5 Контрольные вопросы.....	17
6 Список рекомендуемой литературы для подготовки к практическому занятию.....	18

## 1 Цели работы

- изучение статических и динамических моделей сетей с применением различных топологий;
- освоение методики составления графов сетей различных топологий.

## 2 Краткие теоретические сведения

Трафиком в сетях связи (сетевым трафиком) называют совокупность всех абонентских запросов, обслуженных сетью. Сетевой трафик имеет случайный характер, порождаемый двумя основными случайными процессами: поступления вызовов (заявок) и длительностью занятия (обслуживания заявок). Поступление вызовов от конкретного пользователя, как правило, считается чисто случайным событием и в общем случае не зависит от поступления вызовов от других пользователей. Число вызовов в течение любого интервала времени не определено. В большинстве случаев длительность занятия также распределяется случайным образом. Объем сетевого трафика в основном зависит от двух факторов: частоты поступления вызовов и средней длительности занятия для каждого вызова. На рисунке 1 изображена примерная ситуация, в которой как поступление вызовов, так и длительность занятия от 20 источников случайны. В нижней части рисунка изображена активность каждого источника, а в верхней – суммарная активность в текущий момент времени. Кривая активности показывает число каналов, которое используется в каждый конкретный момент времени. Из рисунка следует, что максимальное число каналов равно 16, а среднее – менее 11.

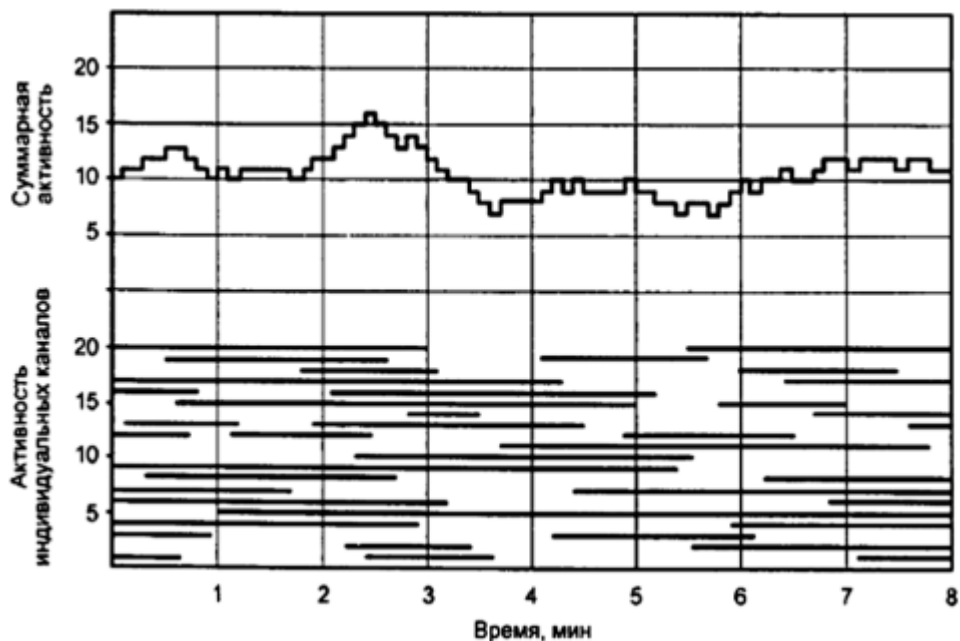


Рисунок 8.1 – Профиль активности сетевой нагрузки.

В зависимости от типа предоставляемых услуг (сервиса) выделяются две основные категории (вида) сетевого трафика.

- трафик реального времени, предоставляющий телекоммуникационные услуги для передачи информации между пользователями в реальном масштабе времени (телефония, в том числе и IP и видеотелефония, видеоконференция, вещание радио и телевизионных программ и т.п.).

- трафик нереального времени (обычных данных, образуемых традиционными распределенными услугами современной телекоммуникационной сети, таких, как электронная почта, передача файлов и т.п.), предоставляющий телекоммуникационные услуги для передачи информации между пользователями не в реальном масштабе времени (с задержкой, промежуточным накоплением и т.п.).

Имеется множество моделей описания трафика в различных телекоммуникационных сетях. В общем случае трафик некоторой услуги (например, телефонной) представляется в виде случайного процесса  $V(t)$ . Мгновенное значение трафика – число блоков информации, которые генерирует соответствующий сервис в единицу времени. Для параметризации трафика, как правило, используется ряд характеристик, которые определены рекомендациями ИТУ-Т.

Эти характеристики описывают интегральные параметры случайного процесса  $B(t)$ , пример реализации которого приведен на рисунке 2.

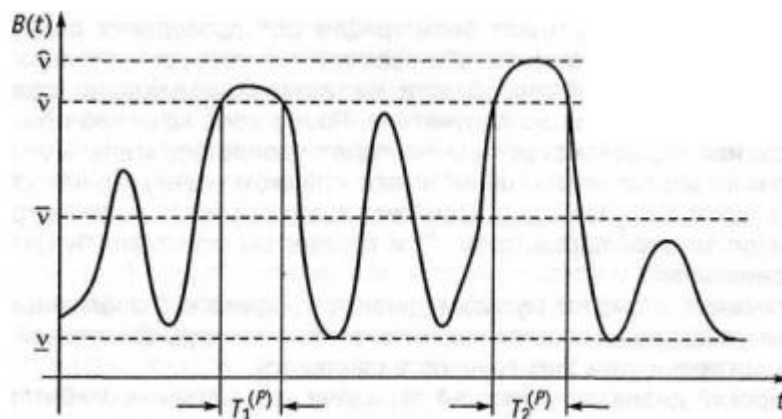


Рисунок 2 - Реализация мультимедийного трафика.

К характеристикам трафика, который генерируется различными мультимедийными услугами, относятся следующие:

- значения трафика (мгновенное, максимальное, пиковое, среднее и минимальное), бит/с;
- коэффициент пачечности трафика (пульсация);
- средняя длительность пикового трафика;
- средняя длительность сеанса связи;
- форматы элементов трафика;
- максимальный, средний, минимальный размеры пакетов;
- интенсивность трафика запросов.

Максимальное значение трафика  $\mathcal{L}$  - максимальное число блоков информации, генерируемых соответствующим сервисом в единицу времени

$$\mathcal{L} = \max B(t) \quad (1)$$

Пиковое значение трафика - трафик соответствующего сервиса, который превышает установленный для него пиковый порог  $v$ .

Среднее значение трафика  $\bar{v}$  - среднее число блоков информации, генерируемое соответствующим сервисом в единицу времени

$$\bar{v} = \frac{1}{T^{(s)}} \int_0^{T^{(s)}} B(t) d(t), \quad (2)$$

где  $T(s)$  - длительность сеанса связи.

Минимальное значение трафика  $\underline{\nu}$  - минимальное число блоков информации, генерируемое соответствующим сервисом в единицу времени

$$\underline{\nu} = \min_t B(t) \quad (3)$$

Коэффициент пачечности трафика  $K$  трафиком соответствующего сервиса отношение между максимальным и средним

Средняя длительность пика  $\bar{T}^{(P)}$  средняя длительность интервала времени, в течение которого соответствующий сервис генерирует пиковый трафик

$$\bar{T}^{(P)} = \frac{1}{N^{(P)}} \sum_{i=1}^{N^{(P)}} T_i^{(P)}, \quad (4)$$

где  $N^{(P)}$  - число пиков в течение сеанса связи;  $T_i^{(P)}$  - длительность  $i$ -го пика процесса  $B(t)$ ,  $i = 1, N^{(P)}$ , а длительность  $i$ -го пика

$$T_i^{(P)} = t_i^{(e)} - t_i^{(s)}, \quad (5)$$

где  $t(e)$ ,  $t(s)$  моменты начала и окончания  $i$ -го пика.

Перечисленные параметры используются для описания трафика соответствующего сервиса в течение одного сеанса связи с абонентом сервиса.

Интенсивность запросов  $\lambda$  на получение обслуживания абонентами сети у соответствующего сервиса - среднее число поступивших запросов на обслуживание в единицу времени.

Средняя длительность сеанса связи  $T(S)$  - средняя продолжительность интервала времени, в течение которого соответствующий сервис обслуживает поступивший запрос.

Максимальный размер пакета  $\mathcal{L}$  - максимальный размер элемента трафика в битах (элемент трафика передается адресату как единое целое).

Средний размер пакета  $s$  - средний размер элемента трафика в битах.

Минимальный размер пакета  $s$  - минимальный размер элемента трафика в битах.

Некоторые типичные параметры трафика, генерируемого соответствующими источниками, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры трафика мультимедийных услуг (типичные значения)

Тип мультимедийного сервиса	Параметры мультимедийных трафиков					
	$\lambda$ , <i>Мбит/с</i>	<i>Мбит/с</i>	<i>K</i>	( <i>P</i> ) <i>T, с</i>	( <i>S</i> ) <i>T, с</i>	<i>L</i> се- анс/сут
IP-телефония	0,064	0,064	1	100	100	5
Высококачественный звук	1	1	1	53	53	3
Видеотелефония	10	2	5	1	100	6
Видеоконференция	10	2	5	1	1000	6
Дистанционное медицинское обслуживание	10	2	5	1	1000	3
Видеомониторинг	10	2	5	—	—	6
Вещание радио и телевизионных программ	34	34	1	—	—	6
Цифровое телевидение	34	34	1	—	5400	6

Первый шаг анализа трафика состоит в описании характеристик времени поступления вызовов и их обслуживания в рамках теории вероятностей. Затем эффективность сети может быть оценена по тому, как она пропускает нормальную или среднюю нагрузку и как часто объем трафика превышает пропускную способность сети.

Методы анализа трафика можно разделить на две основные категории: анализ систем с потерями и анализ систем с ожиданием. Принадлежность к соответствующей категории систем зависит от метода обслуживания избыточного трафика. В системе с потерями избыточный трафик исключается из обслуживания. В системе с ожиданием избыточный трафик ставится в очередь до тех пор, пока оборудование не сможет обслужить его.

Методы анализа трафика реального времени основаны на Марковских моделях и формулах Эрланга, которые хорошо себя зарекомендовали как аппарат для проектирования телефонных сетей с коммутацией каналов. Однако трафик современных телекоммуникационных сетей с коммутацией пакетов обладает особой структурой, не позволяющей использовать при проектировании



указанные выше методы. Эти особенности вызваны появлением эффекта самоподобия телетрафика. В самоподобном телетрафике присутствует некоторое количество достаточно сильных выбросов на фоне относительно низкого среднего уровня, что значительно увеличивает задержки и джиттер при прохождении самоподобного трафика через сеть, даже в случаях, когда средняя интенсивность трафика намного ниже потенциально достижимой скорости передачи в данном канале. Самоподобные процессы относятся к процессам с длинной памятью, что позволяет предсказать их будущее, зная относительно недавнее прошлое. К настоящему времени показано, что самоподобной структурой обладает трафик в проводных сетях при использовании широко распространенных протоколов Ethernet, ОКС 7, VoIP, TCP и др. Аналогичные эффекты обнаружены в сотовых телефонных сетях с коммутацией пакетов, а также в трафике современных телекоммуникационных сетей, использующих технологии беспроводного доступа IEEE 802.11б.

Строго самоподобный в широком смысле (ССШС) процесс  $X$  не меняет свой коэффициент корреляции после усреднения по блокам длины  $m$ . Другими словами,  $X$  – ССШС, если агрегированный процесс  $X(m)$  неотличим от исходного процесса  $X$ , как минимум, в отношении статистических характеристик второго порядка.

Модели Эрланга применяют для анализа так называемых «простейших» СМО, относящихся к марковским СМО ( $n$ -канальной с отказами, одноканальной с неограниченной очередью,  $n$ -канальной с неограниченной очередью т.п.). Граф состояний таких СМО соответствует схеме гибели и размножения. В частности для  $n$ -канальной с отказами граф состояний имеет вид, представленный на рисунке 3.

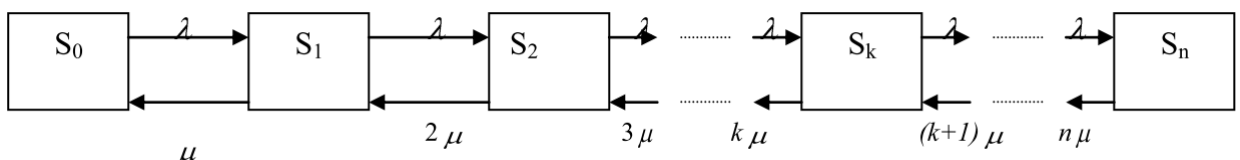


Рисунок 3 - Граф состояний  $n$ -канальной с отказами

На графе обозначено:

-  $S_k$  -  $k$ -ое состояние системы (в СМО находится  $k$  заявок;  $k$  каналов заняты, остальные свободны);

- $\lambda$  интенсивность потока заявок;
- $\mu$  интенсивность потока обслуживания заявок.

Для такой модели можно записать выражение для финальных вероятностей:

$$p_0 = \left(1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^k}{k!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!}\right)^{-1}, \quad (6)$$

где  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$  приведенная интенсивность потока заявок.

Эти формулы называются формулами Эрланга. По данным формулам вычисляются характеристики эффективности СМО:

- вероятность отказа, т.е. того, что заявка покинет СМО необслуженной

$$P_{\text{отк.}} = p_n = \frac{\rho^n}{n!} p_0; \quad (7)$$

- относительную пропускную способность - вероятность того, что заявка будет обслужена

$$Q = 1 - P_{\text{отк.}}; \quad (8)$$

- абсолютную пропускную способность

$$A = \lambda Q; \quad (9)$$

- среднее число занятых каналов

$$\bar{k} = \frac{A}{\mu}.$$

Модели Полячека относятся к немарковским СМО. Для немарковских СМО в настоящее время существует только отдельные результаты, позволяющие выразить в явном, аналитическом виде характеристики СМО через заданные условия задачи - число каналов, характер потока заявок, вид распределения времени обслуживания. Так в частности модель Полячека адекватна одноканальной СМО с неограниченной очередью, простейшим потоком заявок и произвольным распределением времени обслуживания. Для такой системы среднее число заявок в очереди равно

$$\bar{L}_{\text{оч}} = \frac{\rho^2(1 + g_\mu^2)}{2(1 - \rho)}, \quad (10)$$

а среднее число заявок в системе

$$L_{сист.} = \frac{\rho^2(1 + \mathcal{G}_\mu^2)}{2(1 - \rho)} + \rho, \quad (11)$$

где  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ ,  $\mathcal{G}_\mu$  - отношение среднего квадратического отклонения времени обслуживания к его математическому ожиданию.

Эти формулы носят название формул Полячека - Хинчина. Деля  $L_{оч}$  и  $L_{сист}$  на  $\lambda$ , получим среднее время пребывания заявки в очереди и среднее время пребывания в системе:

$$W_{оч} = \frac{\rho^2(1 + \mathcal{G}_\mu^2)}{2\lambda(1 - \rho)}, \quad W_{сист.} = \frac{\rho^2(1 + \mathcal{G}_\mu^2)}{2\lambda(1 - \rho)} + 1/\mu. \quad (12)$$

Понятие структуры сети раскрывает схему связей и взаимодействия ее элементов. При рассмотрении структуры сети выделяют следующие аспекты её описания: физический, определяющий состав и связи элементов и логический, отображающий взаимодействие элементов в процессе функционирования сети.

Физическая структура сети - это схема связей физических элементов сети: узлов коммутации (УК), конечных пунктов (ОП) - станций и линий передачи в их взаимном расположении с характеристиками передачи и распределения сообщений.

Логическая структура сети определяет принципы установления связей, алгоритмы организации процессов и управления ими, логику функционирования программных средств.

Топологическая структура сети или просто топология - это обобщенная геометрическая модель физической структуры сети.

Более конкретный состав аппаратно-программных средств и схема их связей называется конфигурацией сети.

В дальнейшем, если не оговорено особо, под термином «структура» понимается топологическая структура.

Под архитектурой сети понимается совокупность физической, логической и функциональной структуры.

В качестве математической модели топологической структуры сети широко используется модель в виде графа (рисунок 4).

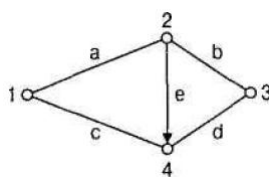


Рисунок 4 - Граф структуры сети

Обычно вершины графа обозначаются цифрами (1, 2, 3, 4) и сопоставляются с УК и/или ОП, а ребра графа - буквами (a, b, c, d, e) и соответствуют каналам связи. В символической форме графы обозначаются  $G(A, B)$ , где знак  $G$  выражает логическое содержание данного понятия;  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$  - множество вершин графа;  $B = \{b_{ij}\}$  - множество ребер между вершинами  $a_i$  и  $a_j$ . Вершины графа называются смежными, если они соединены ребром. Ребра могут быть ориентированными или направленными (ребро e) и неориентированными или ненаправленными (ребра a, b, c, d). Ориентированные ребра соответствуют односторонним каналам, а неориентированные - двусторонним каналам.

Различают три типа графов: 1) ориентированные графы, все ребра которых ориентированные; 2) неориентированные графы, не содержащие ориентированных ребер; 3) графы смежного типа, в которых имеются как ориентированные, так и неориентированные ребра. Каждому ребру может быть приписан некоторый «вес» - число или совокупность чисел, характеризующих какие-либо свойства данного ребра. В качестве веса принимаются, например, длина канала, пропускная способность, скорость передачи информации, число стандартных каналов, надежность, стоимость и т. д. Вершинам графа также могут быть приписаны веса.

Число входящих или исходящих (инцидентных) ребер, называют рангом узла  $r(a_i)$ , где  $i$  - номер узла. На рис. 6.4:  $r(a_1) = 2$ ,  $r(a_2) = 3$ . Узел ранга 1 является тупиковым, так как через него не могут проходить никакие пути.

Путь  $U_j$  - из узла  $a_i$  в узел  $a_j$  - это упорядоченный набор ребер, начинающихся в узле  $a_i$  и заканчивающихся в узле  $a_j$ . Для пути конец каждого предыдущего ребра совпадает с началом последующего ребра. Путь должен быть самонепересекающимся, т.е. не проходящим дважды через один и тот же узел. Для графа (см. рисунок 4) между вершинами 1 и 3 существуют три пути: ab, cd, aed. Мно-

жество путей между этими вершинами  $\mu_{13} = ab$  и  $cd$  и  $aed$ . Пути, как и ребра, могут быть направленными и ненаправленными.

Рангом пути  $r(\mu_{ij})$  называется число ребер, входящих в данный путь. Минимальный ранг пути равен 1, например  $r(\mu_{12}) = 1$ , а максимальный - равен  $N - 1$ , где  $N$  - число вершин графа, в этом случае путь проходит через все вершины.

Путь, начинающийся и заканчивающийся в одной и той же вершине, называется контуром (циклом).

Связностью  $h$  называется минимальное число независимых путей, между всеми парами вершин. Для графа (см. рисунок 4)  $h = 2$ .

### 3 Основные топологии телекоммуникационных сетей

Выбор конкретной топологии сети влияет не только на ее физическую структуру, но и существенно определяет все основные показатели сети.

В одних случаях топология задается заранее, в других - определяется на разных стадиях проектирования. Разработанная или выбранная топология сети оценивается по различным критериям: надежности, экономичности и т. д. Рассмотрим разновидности топологических структур, получивших наибольшее распространение в телекоммуникационных сетях.

1. Древовидная топология предполагает между каждой парой узлов только один путь, т.е. связность сети  $h = 1$ . На рисунке 5 показаны разновидности древовидной топологии.

2. Сетевидная топология, в которой каждый узел является смежным только с небольшим числом других узлов. Связность такой сети  $h > 1$ . На рисунке 6 изображены представители сетевидной топологии.

3. Полносвязная топология, в которой узлы соединены по принципу «каждый с каждым». На рисунке 7 изображена подобная топология.

Если  $N$  - число узлов, то число ребер равно  $\frac{N(N-1)}{2}$ , ранг узла  $r = N-1$ . Без нарушения связности можно исключить  $N-2$  ребер.

Сеть надежна, отличается оперативностью и высоким качеством передачи сообщений. На практике применяется при небольшом числе абонентов.

Топология сети оказывает значительное влияние на основные показатели сети, особенно на надежность и живучесть. Чем выше связность сети, тем она более живуча и надежна. Наибольшей связностью обладает полносвязная сеть, но для ее реализации требуется максимальное число каналов и, следовательно, сеть имеет высокую стоимость.

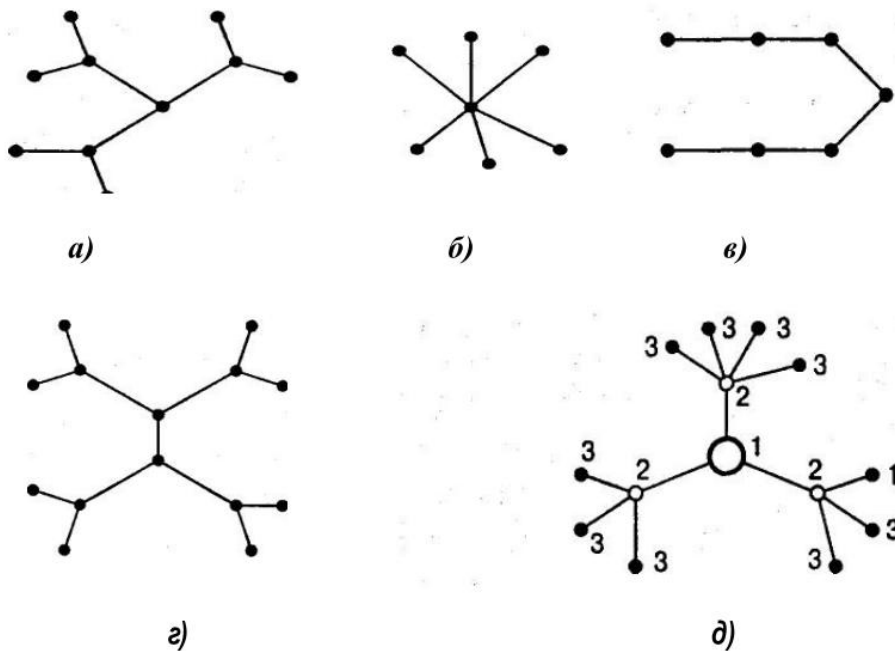


Рисунок 5 – Разновидности древовидной топологии: а - дерево; б - звезда; в - линейная (шина); г - снежинка; д - узловая с иерархией узлов.

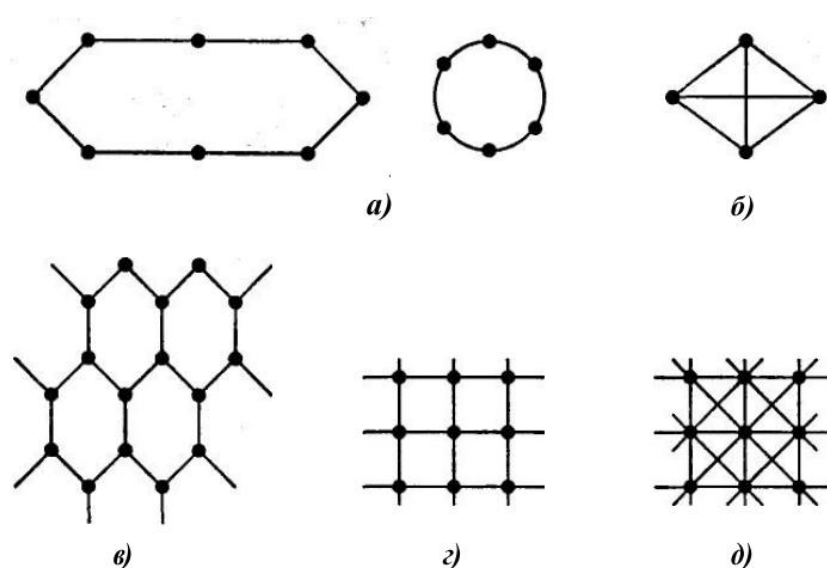


Рисунок 6 – Разновидности сетевидной топологии: а - петлевая (кольцевая); б - радиально-петлевая; в - сотовая; г - решетка; д - двойная решетка.



Рисунок 8.7 – Полносвязная топология

Как правило, построение реальных достаточно больших сетей будет требовать применения многих, если не всех, из рассмотренных топологий. Топология реальной сети обычно строится по иерархическому принципу: крупные узлы соединяются по принципу «каждый с каждым», а на низших уровнях используются простые топологии - дерево, шина, звезда, кольцо и т. д.

В качестве примера рассмотрим топологию первичной сети единой сети электросвязи РФ (ЕСЭ), обеспечивающей предоставление услуг электросвязи (ЭС) на территории страны и являющейся основой информационного комплекса Российской Федерации.

Единая сеть электросвязи (ЕСЭ) - это совокупность технически сопряженных сетей электросвязи общего пользования, ведомственных и других сетей электросвязи на территории России независимо от ведомственной принадлежности и форм собственности, обеспеченная общим централизованным управлением. Определен-

ные технические средства ЕСЭ участвуют в процессе передачи независимо от вида передаваемых сообщений.

Первичная сеть является важнейшей составной частью ЕСЭ и состоит из совокупности оконечных пунктов (ОП), линий передачи и узлов коммутации, образующих сеть типовых каналов и типовых групповых трактов, обеспечивающих передачу любых видов информации. Первичная сеть объединяет магистральные, а также зонные и местные (городские и сельские) первичные сети. Зонные первичные сети – это сети областного, краевого и республиканского значения, связывающие местные сети с центром зоны и между собой. Зонные сети с помощью магистральных линий объединяются во взаимоувязанную сеть связи страны. Принцип построения первичной сети ЕСЭ показан на рисунке 8.

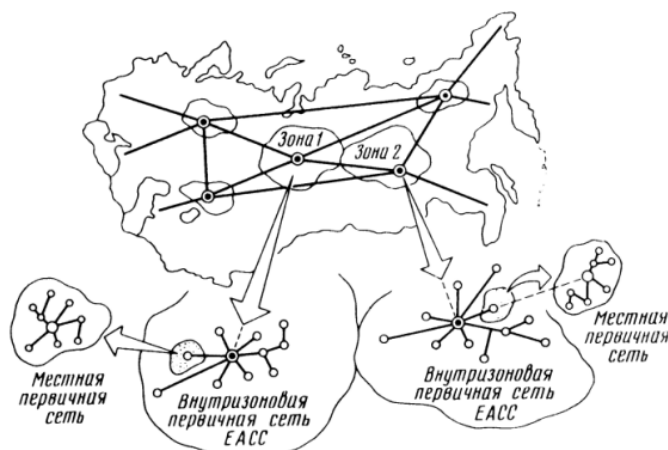


Рисунок 8 – Принцип построения первичной сети ЕСЭ

На базе типовых каналов и трактов первичной сети образуются вторичные сети, которые в зависимости от вида передаваемой информации подразделяются на телефонные, телеграфные, сети передачи данных, звукового и телевизионного вещания, факсимильной связи, различные ведомственные сети (транспорта, морского и воздушного флота, сети связи для газо- и нефтепроводов, банковских структур и др.).

Основным направлением развития первичной сети ЕСЭ является внедрение цифровых систем передачи (ЦСП на металлическом кабеле, волоконно-оптические СП, цифровые РРЛ, спутниковые СП). Целью цифровизации является создание цифровой первичной



сети, предназначенной для предоставления цифровых каналов вторичным сетям и потребителям.

#### 4 Задание на практическую работу

В соответствии с вышеизложенным материалом и вариантом, указанным в таблице 1, необходимо нарисовать граф топологии сети

Таблица 2 – Варианты заданий на практическую работу

Номер варианта	Тип топологии	Количество узлов
1	петлевая (кольцевая)	9
2	радиально-петлевая	15
3	сотовая	13
4	решетка	11
5	двойная решетка	18
6	дерево	9
7	звезда	15
8	линейная	13
9	снежинка	11
10	полносвязная	12
11	узловая с иерархией узлов	9

#### 5 Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «сетевой трафик».
2. На какие основные категории подразделяется сетевой трафик?
3. Что такое Марковские Модели?
4. Приведите основные формулы Эрланга.
5. Какие разновидности древовидной топологии вы знаете?.
6. Какие разновидности сетевидной топологии вы знаете?

6 Список рекомендуемой литературы для подготовки к практическому занятию:

1 Направляющие системы электросвязи [Текст] : учебник / В. А. Андреев ; Э. Л. Портнов, Л. Н. Кочановский. - 7-е изд., перераб. и доп. - М. : Горячая линия - Телеком, 2011 - .Т. 1 : Теория передачи и влияния. - 424 с. : ил. - ISBN 978-5-9912-00 92-9.

2 Многоканальные телекоммуникационные системы [Текст] : учебник для вузов / В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2015. - 396 с. : ил. - Библиогр.: с. 393. - ISBN 5-93517-9912-0251-0.

3. Макаренко С.И., Сапожников В.И., Захаренко Г.И., Федосеев В.Е. Системы связи [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов (курсантов) вузов. - Воронеж: ВАИУ, 2011. - 285 с.//<http://window.edu.ru/resource/488/77488>

4. Бернард, С. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.