



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная электроника»

**А. В. Ковалев, Д. А. Литвинов**

## **КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по курсу «Системы телекоммуникаций»  
для студентов специальности 1-36 04 02  
«Промышленная электроника»  
дневной формы обучения**

**В четырех частях  
Часть 2**

Гомель 2013

УДК 621.391(075.8)  
ББК 32.88я73  
К56

*Рекомендовано научно-методическим советом  
факультета автоматизированных и информационных систем  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 5 от 26.12.2011 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Информационные технологии»  
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. В. Кротенок*

**Ковалев, А. В.**  
К56 Кабельные линии связи систем телекоммуникаций : лаборатор. практикум по курсу «Системы телекоммуникаций» для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» днев. формы обучения : в 4 ч. Ч. 2 / А. В. Ковалев, Д. А. Литвинов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. – 56 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: [http:// library.gstu.by/StartEK/](http://library.gstu.by/StartEK/). – Загл. с титул. экрана.

Содержит описание современных кабельных линий связи систем телекоммуникаций, методик их проектирования, оптимизации и особенностей построения.

Для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» дневной формы обучения.

УДК 621.391(075.8)  
ББК 32.88я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2013

## Содержание

Лабораторная работа № 4 Проектирование сетей абонентского кабеля.....	4
Лабораторная работа № 5 Проектирование сети SDH .....	11
Лабораторная работа № 6 Сети ETHERNET и FAST ETHERNET.....	41
Литература .....	56

## Лабораторная работа №4 Проектирование сетей абонентского кабеля

**Цель работы:** изучение методов проектирования сетей абонентского кабеля.

### Краткие теоретические сведения

#### 1.1. Арифметический метод

Пусть абонентская матрица имеет размер  $n \times m$ . Каждая ячейка соответствует некоторой территории, а содержимое – числу источников нагрузки  $q_{ij}$  на этой территории.

Место расположения столбца (опорной станции) определяется таким образом, чтобы как слева, так и справа от него было примерно одинаковое количество источников нагрузки [1].

										$Q_{z_i}$	$\sum_{i=1}^l Q_{z_i}$	$\sum_{i=1}^m Q_{z_i}$	$D_{z_l}$	
	16		15	15				9	9	19	83	83	581	498
	10		17	15	12	9	9	12	9		93	176	498	322
	10	15	20	12	15	9	12	9	9		111	287	405	118
		24	15	16	19	9	9		15		107	394	294	100
			13	15	24	10		5			67	461	187	274
			15	15			10		20	21	81	542	120	422
		7	10			11			11		39	581	39	542
$Q_{s_j}$	36	46	105	88	70	48	40	35	73	40				
$\sum_{j=1}^k Q_{s_j}$	36	82	187	275	345	393	433	468	541	581				
$\sum_{j=k}^n Q_{s_j}$	581	545	499	394	306	236	188	148	113	40				
$D_{s_k}$	545	463	312	119	39	157	245	320	428	541				

Рисунок 1.1 – Определение места расположения станции арифметическим методом

Если обозначить сумму источников нагрузки в некотором столбце через  $Q_{s_j}$ , тогда для каждого столбца  $S_k$  можно записать модуль разности сумм источников нагрузки, суммируемых по столбцам, рас-

положенным от него слева и справа, в следующем виде:

$$Ds_k = \left| \sum_{j=1}^k Qs_j - \sum_{j=k}^n Qs_j \right| \quad (1.1)$$

Критерий выбора места расположения столбца имеет вид:

$$Ds_k \rightarrow \min. \quad (1.2)$$

Для выбора места расположения строки  $Zl$  необходимо найти такую строку, для которой сверху и снизу будет примерно одинаковое количество источников нагрузки.

Модуль разности сумм источников нагрузки, суммируемых по строкам, расположенным сверху и снизу от строки  $Zl$

$$Dz_l = \left| \sum_{i=1}^l Qz_i - \sum_{i=l}^m Qz_i \right| \quad (1.3)$$

Критерий выбора места расположения строки имеет вид:

$$Dz_l \rightarrow \min. \quad (1.4)$$

Полученные суммы по столбцам и строкам должны быть равны:

$$\sum_{j=1}^n Qs_j = \sum_{j=n}^1 Qs_j = \sum_{i=1}^m Qz_i = \sum_{i=m}^1 Qz_i. \quad (1.5)$$

## **1.2. Проектирование сетей абонентского кабеля путем минимизации затрат на линии (геометрический метод)**

Геометрический метод учитывает не только множество источников и приемников информации, но и расходы на линию [1].

Для всех источников нагрузки, расположенных слева от столбца  $Sk$  определяется «горизонтальный» компонент расходов

$$As_{k\text{ сл}} = As_{k-1\text{ сл}} + \sum_{j=1}^{k-1} Qs_j. \quad (1.6)$$

«Горизонтальный» компонент расходов для всех источников нагрузки, расположенных справа от столбца  $Sk$ :

$$As_{k\text{ сл}} = As_{k+1\text{ сл}} + \sum_{j=k+1}^n Qs_j. \quad (1.7)$$

Общие расходы на линию  $Ask$  получаются в виде сумм обоих компонентов:

$$As_k = As_{k\text{ сл}} + As_{k\text{ сл}}. \quad (1.8)$$

Аналогичные вычисления расходов на линию выполняются для источников нагрузки, расположенных сверху и снизу от строки  $zl$ .

Критерий выбора места расположения столбца и строки тот же, что и в первом случае.

	$Qz_i$	$Az_{k\text{ сл}}$	$Az_{k\text{ сл}}$	$Az_k$
16	83	0	1543	1543
10	93	83	1045	1128
10 15	111	259	640	899
24	107	546	346	892
	67	940	159	1099
	81	1401	39	1440
7	39	1943	0	1943

$Qs_j$	36	46	105	88	70	48	40	35	73	40
$As_{k\text{ сл}}$	0	36	118	305	580	925	1318	1751	2219	2760
$As_{k\text{ сл}}$	2469	1924	1425	1031	725	489	301	153	40	0
$As_k$	2469	1960	1543	1336	1305	1414	1619	1904	2259	2760

Рисунок 1.2 – Определение места расположения станции геометрическим методом

### 1.3. Влияние местных условий на оптимальное место расположения станции

В реальных условиях могут существовать причины (например, водные пространства, скалистый грунт, железнодорожные сооружения и т. д.), не позволяющие осуществлять прокладку трасс по желаемому маршруту. Рассмотрим правила вычисления перерасхода средств при обходе препятствия.

Порядок расчета следующий. Сначала определяют места расположения строк и столбцов при отсутствии препятствия. После этого вновь рассчитывают совокупные расходы на линию («горизонтальные» и «вертикальные» компоненты) для первоначальной ячейки абонентской матрицы и для всех смежных ячеек, учитывающих необходимые направления трасс [1].

Если на абонентской матрице существует участок действия препятствия, то, очевидно, что горизонтально расположенные препятствия могут вызывать только «горизонтальный» компонент, а вертикально расположенные – «вертикальный» компонент перерасхода затрачиваемых средств.

Если препятствие занимает нечетное количество столбцов ( $1 + 2p$ ) и ожидаемое место расположения опорной станции лежит выше препятствия, то получается перерасход на линию  $M_j$ , который может вычисляться по суммам источников нагрузки для столбцов ниже препятствия  $Q_{s j n}$ . Если ожидаемое место расположения узла лежит ниже препятствия, то определяющую роль играют суммы источников нагрузки для столбцов выше препятствия  $Q_{s j v}$ .

Если препятствие размещается на линии растровой сетки между строками  $h$  и  $h + 1$ , то для перерасхода  $M_j$  имеем:

$$M_{j v} = 2 \sum_{i=h+1}^n q_{ij} \quad (1.9)$$

$$M_{j n} = 2 \sum_{i=1}^h q_{ij} \quad (1.10)$$

Тогда общий перерасход можно описать следующим выражением:

$$MA_j = \sum_{k=i-p}^{i+p} f_k M_k \quad (1.11)$$

$As_{k\ e}$	2469	1960	1543	1486	1503	1564	1619	1904	2259	2760	$Qz_j$	$Az_{k\ cв}$	$Az_{k\ cн}$	$Az_k$
$MA_{k\ e}$				150	198	150								
	16		15	15				9	9	19	83	0	1543	1543
	10		17	15	12	9	9	12	9		93	83	1045	1128
	10	15	20	12	15	9	12	9	9		111	259	640	899
$M_{4e}$		24	15	16	19	9	9		15		107	546	346	892
			13	15	24	10		5			67	940	159	1099
			15	15			10		20	21	81	1401	39	1440
$M_{4n}$	7	10				11			11		39	1943	0	1943
$Qs_j$	36	46	105	88	70	48	40	35	73	40				
$As_{k\ cн}$	0	36	118	305	580	925	1318	1751	2219	2760				
$As_{k\ cв}$	2469	1924	1425	1031	725	489	301	153	40	0				
$As_k$	2469	1960	1543	1336	1305	1414	1619	1904	2259	2760				
$MA_{k\ н}$				262	354	262								
$As_{k\ н}$	2469	1960	1543	1598	1659	1676	1619	1904	2259	2760				

Рисунок 1.3 – Определение места расположения станции при наличии препятствия

Таблица 1.1

Значения множителя  $f_k$  при условии, что длины препятствий соответствуют  $(1 + 2p)$  длинам стороны квадрата растровой сетки и препятствие не длиннее 5 квадратов

Обозначение столбца	$l-2$	$l-1$	$l$	$l+1$	$l+2$
$l-2$	$p-1$	$p-1$	$p-1$	$p-1$	$p-1$
$l-1$	$p-1$	$p$	$p$	$p$	$p-1$
$l$	$p-1$	$p$	$p+1$	$p$	$p-1$
$l+1$	$p-1$	$p$	$p$	$p$	$p-1$
$l+2$	$p-1$	$p-1$	$p-1$	$p-1$	$p-1$

Таблица 1.2

Значения множителя  $fk$  при условии, что длины препятствий соответствуют  $2p$  длинам стороны квадрата растровой сетки и препятствие не длиннее 5 квадратов

Обозначение столбца	$l-2$	$l-1$	$l$	$l+1$	$l+2$
$l-2$	$p-2$	$p-2$	$p-2$	$p-2$	$p-2$
$l-1$	$p-2$	$p-1$	$p-1$	$p-1$	$p-1$
$l$	$p-2$	$p-1$	$p$	$p$	$p-1$
$l+1$	$p-2$	$p-1$	$p$	$p$	$p-1$
$l+2$	$p-2$	$p-1$	$p-1$	$p-1$	$p-1$

#### 1.4. Пример

Рассмотрим исходную абонентскую матрицу. Отмеченное на рисунке 1.3 препятствие содержит горизонтальный компонент перерасхода на линию по столбцам 4, 5 и 6. Поскольку схема должна ориентироваться на середину препятствия, то  $l=5$  (центральный столбец) и  $p=1$  ( $1+2p=3$ , где 3 – длина препятствия). Поскольку препятствие занимает нечетное число ячеек, то используем табл. 1.1. По формулам (1.9) и (1.10), для столбцов 4, 5 и 6 и для  $h=4$  находим перерасход на линию. Результаты расчета занесем в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Перерасход на линию

Перерасход	Номер столбца		
	$k=4$	$k=5$	$k=6$
$M_{j\epsilon}$	60	48	42
$M_{j\eta}$	116	92	54

$$\begin{aligned}
 MA_{4\epsilon} &= pM_{4\epsilon} + pM_{5\epsilon} + pM_{6\epsilon} = 150 \\
 MA_{5\epsilon} &= pM_{4\epsilon} + (p+1)M_{5\epsilon} + pM_{6\epsilon} = 198 \\
 MA_{6\epsilon} &= pM_{4\epsilon} + pM_{5\epsilon} + pM_{6\epsilon} = 150 \\
 MA_{4\eta} &= pM_{4\eta} + pM_{5\eta} + pM_{6\eta} = 262 \\
 MA_{5\eta} &= pM_{4\eta} + (p+1)M_{5\eta} + pM_{6\eta} = 354 \\
 MA_{6\eta} &= pM_{4\eta} + pM_{5\eta} + pM_{6\eta} = 262
 \end{aligned}$$

Наличие препятствия приводит к тому, что оптимальное место расположения узла смещается в квадрат A4,3.

Если препятствие занимает часть вертикальной линии растровой сетки, то аналогичные соображения справедливы для сумм строк, находящихся слева или справа от препятствия.

### **Задание к лабораторной работе**

Самостоятельно сформировать абонентскую матрицу  $7 \times 10$ . Выполнить расчет по пунктам 1.1–1.3. Препятствие расположить по горизонтали согласовав его с преподавателем. Размер препятствия принять равным 5 ячейкам.

### **Требование к отчету**

В отчете должны быть отображены следующие пункты:

1. Задание.
2. Теория (при необходимости).
3. Исходные данные.
4. Ход решения поставленной задачи с комментариями.
5. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Как формируется абонентская матрица?
2. В чем заключается задача определения места районной АТС?
3. Перечислите и поясните факторы, влияющие на окончательный выбор места районной АТС.
4. Дайте классификацию сетей связи.
5. Раскройте понятие ВСС.
6. Сформулируйте задачи сети доступа и транспортной сети.

## Лабораторная работа №5 Проектирование сети SDH

Цель работы: изучить основные правила проектирования сети SDH.

### Краткие теоретические сведения

#### 1.1. Обобщенная структура телекоммуникационной сети

Несмотря на сохраняющиеся различия между компьютерными, телефонными, телевизионными, радио и первичными сетями, в их структуре можно найти много общего. В общем случае телекоммуникационная сеть состоит из следующих компонентов (рис. 2.1):

- терминального оборудования пользователей (возможно, объединенного в сеть);
- сетей доступа;
- магистральной сети;
- информационных центров, или центров управления сервисами (Services Control Point, – SCP).



Рисунок 2.1 – Обобщенная структура телекоммуникационной системы

Сеть доступа составляет нижний уровень иерархии телекоммуникационной сети. Основное назначение сети доступа – концентрация информационных потоков, поступающих по многочисленным каналам связи от оборудования клиентов, в сравнительно небольшом количестве узлов магистральной сети.

В случае компьютерной сети терминальным оборудованием являются компьютеры, телефонной – телефонные аппараты, телевизионной или радиосети – соответствующие теле или радиоприемники. Терминальное оборудование пользователей может быть объединено в сети, которые не включаются в состав телекоммуникационной сети, так как принадлежат пользователям и размещаются на их территории. Компьютеры пользователей объединяются в LAN, а телефоны могут подключаться к офисному телефонному коммутатору (Private Branch Exchange, PBX).

**Сеть доступа** – это региональная сеть, отличающаяся большой разветвленностью. Как и телекоммуникационная сеть в целом, сеть доступа может состоять из нескольких уровней (на рис. 2.1 их показано два). Коммутаторы, установленные в узлах нижнего уровня, мультиплексируют информацию, поступающую по многочисленным абонентским каналам, часто называемым абонентскими окончаниями, и передают ее коммутаторам верхнего уровня, чтобы те, в свою очередь, передали ее коммутаторам магистрали.

Количество уровней сети доступа зависит от ее размера; небольшая сеть доступа может состоять из одного уровня, крупная – из двух-трех.

**Магистральная сеть** объединяет отдельные сети доступа, обеспечивая транзит трафика между ними по высокоскоростным каналам.

Коммутаторы магистрали могут оперировать не только информационными соединениями между отдельными пользователями, но и агрегированными информационными потоками, переносящими данные большого количества пользовательских соединений. В результате информация с помощью магистрали попадает в сеть доступа получателей, где она демultipлексируется и коммутируется таким образом, чтобы на входной порт оборудования пользователя поступала только адресованная ему информация.

**Информационные центры**, или центры управления сервисами, реализуют информационные услуги сети. Примером информацион-

ных ресурсов первого типа могут служить веб-порталы, на которых расположена разнообразная справочная и новостная информация, информация электронных магазинов и т. п. В телефонных сетях подобные центры оказывают услуги экстренного вызова (например, милиции, скорой помощи) и справочные услуги различных организаций и предприятий – вокзалов, аэропортов, магазинов и т. п.

Естественно, у сетей каждого конкретного типа имеется много особенностей, тем не менее их структура в целом соответствует описанной. В то же время, в зависимости от назначения и размера сети, в ней могут отсутствовать или же иметь несущественное значение некоторые составляющие обобщенной структуры. Например, в небольшой локальной компьютерной сети нет ярко выраженных сетей доступа и магистрали – они сливаются в общую и достаточно простую структуру. В корпоративной сети, как правило, отсутствует система биллинга, так как услуги сотрудником предприятия оказываются не на коммерческой основе. В некоторых телефонных сетях могут отсутствовать информационные центры, а в телевизионных сетях сеть доступа приобретает вид распределительной сети, так как информация в ней распространяется только в одном направлении – из сети к абонентам.

### ***1.2. Сети PDH***

Технология PDH была разработана в конце 60-х годов компанией AT&T для решения проблемы связи крупных коммутаторов телефонных сетей между собой. Линии связи FDM, применяемые ранее для решения этой задачи, исчерпали свои возможности в плане организации высокоскоростной многоканальной связи по одному кабелю. В технологии FDM для одновременной передачи данных 12 абонентских каналов использовалась витая пара, а для повышения скорости связи приходилось прокладывать кабели с большим количеством пар проводов или более дорогие коаксиальные кабели.

В качестве средств мультиплексирования при соединении крупных телефонных станций каналы T-1 были слишком медленны и негибки, поэтому была реализована идея образования каналов с иерархией скоростей. Четыре канала типа T-1 объединили в канал следующего уровня цифровой иерархии – T-2, передающий данные со скоростью 6,312 Мбит/с. Канал T-3, образованный путем объединения семи каналов T-2, имеет скорость 44,736 Мбит/с. Канал T-4 объединяет 6

каналов Т-3, в результате его скорость равна 274 Мбит/с. Описанная технология получила название системы Т-каналов.

С середины 70-х годов выделенные каналы, построенные на основе систем Т-каналов, стали сдаваться телефонными компаниями в аренду на коммерческих условиях, перестав быть внутренней технологией этих компаний. Системы Т-каналов позволяют передавать не только голос, но и любые данные, представленные в цифровой форме: компьютерные данные, телевизионное изображение, факсы и т. п.

Технология систем Т-каналов была стандартизована Американским национальным институтом стандартов (ANSI), а позже – международной организацией ITU-T. При стандартизации она получила название плезиохронной цифровой иерархии (PDH). В результате внесенных ITU-T изменений возникла несовместимость американской и международной версий стандарта PDH. Аналогом систем Т-каналов в международном стандарте являются каналы типа Е-1, Е-2 и Е-3 с отличающимися скоростями – соответственно 2,048 Мбит/с, 8,488 Мбит/с и 34,368 Мбит/с. Американская версия сегодня помимо США распространена также в Канаде и Японии (с некоторыми различиями), в Европе же применяется международный стандарт ITU-T. На практике в основном используются каналы Т-1/Е-1 и Т-3/Е-3.

При мультиплексировании нескольких пользовательских потоков в мультиплексорах PDH применяется техника, называемая бит-стаффингом. К этой технике прибегают, когда скорость пользовательского потока оказывается несколько меньше, чем скорость объединенного потока – подобные проблемы могут возникать в сети, состоящей из большого количества мультиплексоров, несмотря на все усилия по централизованной синхронизации узлов сети (в природе нет ничего идеального, в том числе идеально синхронных узлов сети). В результате мультиплексор PDH периодически сталкивается с ситуацией, когда ему «не хватает» бита для представления в объединенном потоке того или иного пользовательского потока. В этом случае мультиплексор просто вставляет в объединенный поток бит-вставку и отмечает этот факт в служебных битах объединенного кадра. При демultipлексировании объединенного потока бит-вставка удаляется из пользовательского потока, который возвращается в исходное состояние. Техника бит-стаффинга применяется как в международной, так и в американской версиях PDH.

Отсутствие полной синхронности потоков данных при объединении низкоскоростных каналов в высокоскоростные и дало название

технологии PDH («плезиохронный» означает «почти синхронный»). Пользователь может арендовать несколько каналов 64 Кбит/с (56 Кбит/с) в канале T-1/E-1. Такой канал называется «дробным» каналом T-1/E-1. В этом случае пользователю отводится несколько тайм-слотов работы мультиплексора.

Физический уровень технологии PDH поддерживает различные виды кабелей: витую пару, коаксиальный кабель, волоконно-оптический кабель. Основным вариантом абонентского доступа к каналам T-1/E-1 является кабель из двух витых пар с разъемами RJ-48. Две пары требуются для организации дуплексного режима передачи данных со скоростью 1,544/2,048 Мбит/с. Для представления сигналов используются:

- в каналах T-1 – биполярный потенциальный код B8ZS;
- в каналах E-1 – биполярный потенциальный код HDB3.

Для усиления сигнала на линиях T-1 через каждые 1800 м (одна миля) устанавливаются регенераторы и аппаратура контроля линии.

Коаксиальный кабель благодаря своей широкой полосе пропускания поддерживает один канал T-2/E-2 или 4 канала T-1/E-1. Для работы каналов T-3/E-3 обычно используется либо коаксиальный кабель, либо волоконно-оптический кабель, либо каналы СВЧ. Физический уровень международного варианта технологии определяется стандартом G.703. Название этого стандарта служит также для обозначения типа интерфейса маршрутизатора или моста, подключаемого к каналу E-1. Американский вариант названия интерфейса – T-1.

В случае небольшой сети PDH, например сети города, синхронизация всех устройств сети из одной точки представляется достаточно простым делом. Однако для более крупных сетей, например сетей масштаба страны, которые состоят из некоторого количества региональных сетей, синхронизация всех устройств сети представляет собой проблему.

Общий подход к решению этой проблемы описан в стандарте ITU-T G.810. Он заключается в организации в сети иерархии эталонных источников синхросигналов, а также системы распределения синхросигналов по всем узлам сети (рис.2.1).

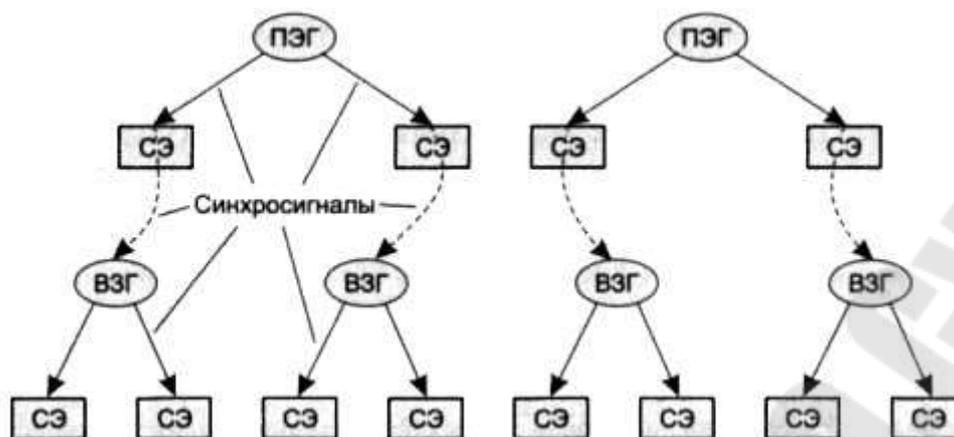


Рисунок 2.2 – Организация распределения синхросигналов по узлам сети PDH

Каждая крупная сеть должна иметь, по крайней мере, один первичный эталонный генератор (ПЭГ) синхросигналов (в англоязычном варианте – Primary Reference Clock, PRC). Это очень точный источник синхросигналов, способный вырабатывать синхросигналы с относительной точностью частоты не хуже  $10^{-11}$  (такую точность требуют стандарты ITU-T G.811 и ANSI T1.101, в последнем для описания точности ПЭГ применяется название Stratum 1). На практике в качестве ПЭГ используют либо автономные атомные (водородные или цезиевые) часы, либо часы, синхронизирующиеся от спутниковых систем точного мирового времени, таких как GPS или ГЛОНАСС. Обычно точность ПЭГ достигает  $10^{-13}$ .

Стандартным синхросигналом является сигнал тактовой частоты уровня DS1, то есть частоты 2048 кГц для международного варианта стандартов PDH и 1544 кГц для американского варианта этих стандартов.

Для синхронизации немагистральных узлов используется вторичный задающий генератор (ВЗГ) синхросигналов, который в варианте ITU-T называют Secondary Reference Clock (SRC), а в варианте ANSI – генератор уровня Stratum 2. ВЗГ работает в режиме принудительной синхронизации, являясь ведомым таймером в паре ПЭГ-ВЗГ. Обычно ВЗГ получает синхросигналы от некоторого ПЭГ через промежуточные магистральные узлы сети, при этом для передачи синхросигналов используются биты служебных байтов кадра, например нулевого байта кадра E-1 в международном варианте PDH.

Точность ВЗГ меньше, чем точность ПЭГ: ITU-T в стандарте G.812 определяет ее как «не хуже  $10^{-9}$ », а точность генераторов Stratum 2 должна быть не «хуже  $1,6 \times 10^{-8}$ ».

Иерархия эталонных генераторов может быть продолжена, если это необходимо, при этом точность каждого более низкого уровня естественно понижается. Генераторы нижних уровней, начиная от ВЗГ, могут использовать для выработки своих синхросигналов несколько эталонных генераторов более высокого уровня, но при этом в каждый момент времени один из них должен быть основным, а остальные – резервными; такое построение системы синхронизации обеспечивает ее отказоустойчивость. Однако в этом случае нужно приоритезировать сигналы генераторов более высоких уровней. Кроме того, при построении системы синхронизации нужно гарантировать отсутствие петель синхронизации.

Методы синхронизации цифровых сетей, кратко описанные в этом разделе, применимы не только к сетям PDH, но и к другим сетям, работающим на основе синхронного TDM-мультиплексирования, например, к сетям SDH, а также к сетям цифровых телефонных коммутаторов.

Как американский, так и международный варианты технологии PDH обладают недостатками, основным из которых является сложность и неэффективность операций мультиплексирования и демупльтиплексирования пользовательских данных. Применение техники битстаффинга для выравнивания скоростей потоков приводит к тому, что для извлечения пользовательских данных из объединенного канала необходимо полностью демупльтиплексировать кадры объединенного канала.

Например, чтобы получить данные одного абонентского канала 64 Кбит/с из кадров канала T-3, требуется произвести демупльтиплексирование этих кадров до уровня кадров T-2, затем – до уровня кадров T-1, а в конце концов демупльтиплексировать и сами кадры T-1.

Если сеть PDH используется только в качестве транзитной магистрали между двумя крупными узлами, то операции мультиплексирования и демупльтиплексирования выполняются исключительно в конечных узлах, и проблем не возникает. Но если необходимо выделить один или несколько абонентских каналов в промежуточном узле сети PDH, то эта задача простого решения не имеет. Как вариант предлагается установка двух мультиплексоров уровня T3/E3 и выше в каждом узле сети (рис. 2.3). Первый призван обеспечить полное демупльтиплексирование потока и отвод части низкоскоростных каналов абонентам, второй – опять собрать в выходной высокоскоростной поток ос-

тавщиеся каналы вместе с вновь вводимыми. При этом количество работающего оборудования удваивается.

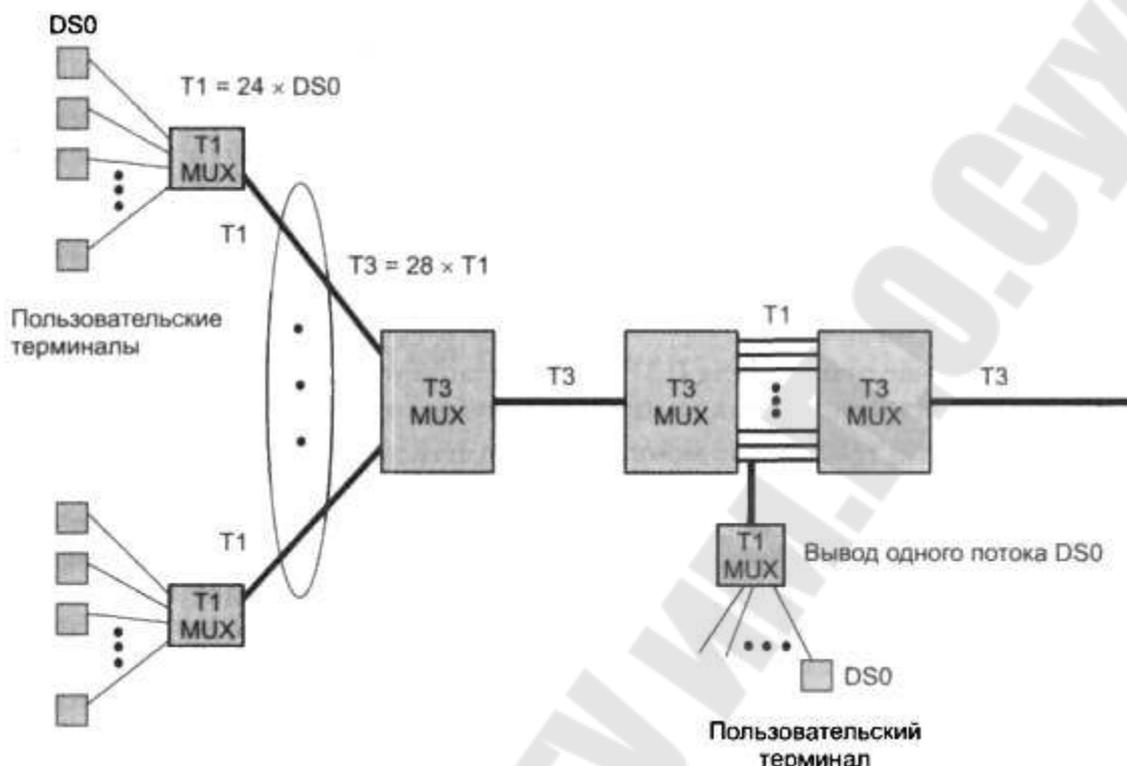


Рисунок 2.3 – Выделение низкоскоростного канала путем полного демультиплексирования

Другой вариант – «обратная доставка». В промежуточном узле, где нужно выделить и отвести абонентский поток, устанавливается единственный высокоскоростной мультиплексор, который просто передает данные транзитом дальше по сети без их демультиплексирования. Эту операцию выполняет только мультиплексор конечного узла, после чего данные соответствующего абонента возвращаются по отдельной линии связи в промежуточный узел. Естественно, такие сложные взаимоотношения коммутаторов усложняют работу сети, требуют ее тонкого конфигурирования, что ведет к большому объему ручной работы и ошибкам.

К тому же в технологии PDH не предусмотрены встроенные средства обеспечения отказоустойчивости и администрирования сети. Наконец, недостатком PDH являются слишком низкие по современным понятиям скорости передачи данных. Волоконно-оптические кабели позволяют передавать данные со скоростями в несколько гигабит в секунду по одному волокну, что обеспечивает консолидацию в одном кабеле десятков тысяч пользовательских каналов, но эту возможность

технология PDH не реализует – ее иерархия скоростей заканчивается уровнем 139 Мбит/с.

### **1.3. Сети SDH**

Характерные для технологии PDH недостатки были учтены и преодолены разработчиками технологии синхронных оптических сетей (Synchronous Optical NET, SONET), первый вариант стандарта которой появился в 1984 г. Затем она была стандартизована комитетом T-1 института ANSI. Международная стандартизация технологии проходила под эгидой Европейского института телекоммуникационных стандартов (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) и сектором телекоммуникационной стандартизации союза ITU (ITU Telecommunication Standardization Sector, ITU-T) совместно с ANSI и ведущими телекоммуникационными компаниями Америки, Европы и Японии. Основной целью разработчиков международного стандарта было создание технологии, способной передавать трафик всех существующих цифровых каналов уровня PDH (как американских T1-T3, так и европейских E1-E4) по высокоскоростной магистральной сети на базе волоконнооптических кабелей и обеспечить иерархию скоростей, продолжающую иерархию технологии PDH до скорости в несколько гигабит в секунду.

В результате длительной работы ITU-T и ETSI удалось подготовить международный стандарт SDH (Synchronous Digital Hierarchy – синхронная цифровая иерархия). Кроме того, стандарт SONET был доработан так, чтобы аппаратура и сети SDH и SONET являлись совместимыми и могли мультиплексировать входные потоки практически любого стандарта PDH – и американского, и европейского.

Поддерживаемая технологией SONET/SDH иерархия скоростей представлена в таблице 2.1.

*Таблица 2.1*

#### **Иерархия скоростей SONET/SDH**

SDH	SONET	Скорость
	STS-1.OC-1	51,84 Мбит/с
STM-1	STS-3, OC- 3	155,520 Мбит/с
STM-3	OC-9	466,560 Мбит/с
STM-4	OC-12	622,080 Мбит/с
STM-6	OC-18	933,120 Мбит/с

STM-8	OC-24	1,244 Гбит/с
STM-12	OC-36	1,866 Гбит/с
STM-16	OC-48	2,488 Гбит/с
STM-64	OC-192	9,953 Гбит/с
STM-256	OC-768	39,81 Гбит/с

В стандарте SDH все уровни скоростей (и, соответственно, форматы кадров для этих уровней) имеют общее название STM-N (Synchronous Transport Module level N – синхронный транспортный модуль уровня N). В технологии SONET существует два обозначения для уровней скоростей: название STS-N (Synchronous Transport Signal level N – синхронный транспортный сигнал уровня N) употребляется в случае передачи данных электрическим сигналом, а название OC-N (Optical Carrier level N – оптоволоконная линия связи уровня N) используют в случае передачи данных по волоконно-оптическому кабелю. Далее для упрощения изложения мы сосредоточимся на технологии SDH.

Кадры STM-N имеют достаточно сложную структуру, позволяющую агрегировать в общий магистральный поток потоки SDH и PDH различных скоростей, а также выполнять операции ввода-вывода без полного демультиплексирования магистрального потока.

Операции мультиплексирования и ввода-вывода выполняются при помощи виртуальных контейнеров (Virtual Container, VC), в которых блоки данных PDH можно транспортировать через сеть SDH. Помимо блоков данных PDH в виртуальный контейнер помещается еще некоторая служебная информация, в частности заголовок пути (Path OverHead, ПОН) контейнера, в котором размещается статистическая информация о процессе прохождения контейнера вдоль пути от его начальной до конечной точки (сообщения об ошибках), а также другие служебные данные, например индикатор установления соединения между конечными точками. В результате размер виртуального контейнера оказывается больше, чем соответствующая нагрузка в виде блоков данных PDH, которую он переносит. Например, виртуальный контейнер VC-12 помимо 32 байт данных потока E-1 содержит еще 3 байта служебной информации.

В технологии SDH определено несколько типов виртуальных контейнеров (рис. 1), предназначенных для транспортировки основных типов блоков данных PDH: VC-11 (1,5 Мбит/с), VC-12 (2 Мбит/с), VC-2 (6 Мбит/с), VC3 (34/45 Мбит/с) и VC-4 (140 Мбит/с).

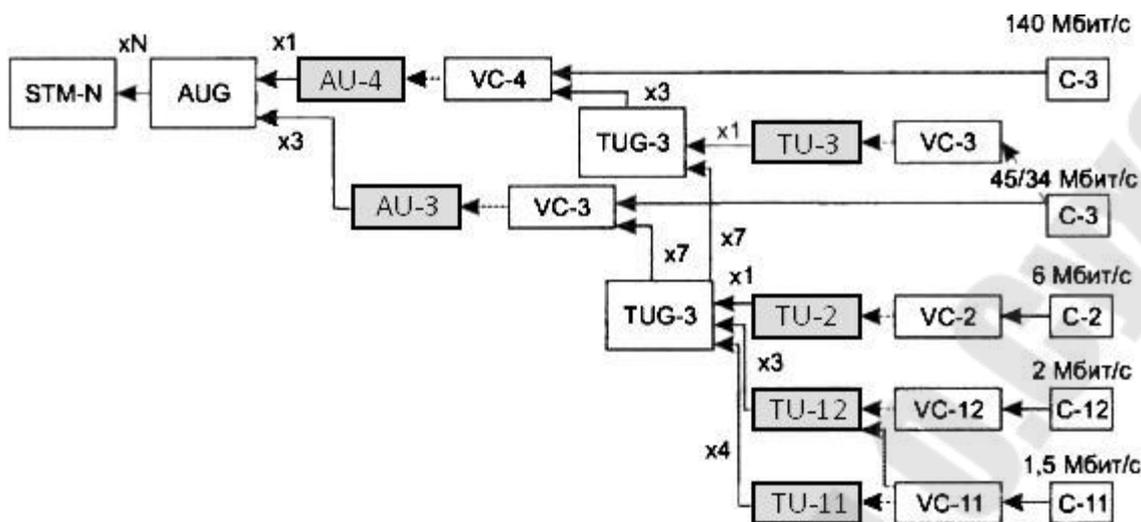


Рисунок 2.4 – Схема мультиплексирования данных в SDH

Виртуальные контейнеры являются единицей коммутации мультиплексоров SDH. В каждом мультиплексоре существует таблица соединений (называемая также таблицей кросссоединений), в которой указано, например, что контейнер VC-12 порта P1 соединен с контейнером VC12 порта P5, а контейнер VC3 порта P8 – с контейнером VC3 порта P9.

Таблицу соединений формирует администратор сети с помощью системы управления или управляющего терминала на каждом мультиплексоре так, чтобы обеспечить сквозной путь между конечными точками сети, к которым подключено пользовательское оборудование.

Чтобы совместить в рамках одной сети механизмы синхронной передачи кадров (STM-N) и асинхронный характер переносимых этими кадрами пользовательских данных PDH, в технологии SDH применяются указатели. Концепция указателей – ключевая в технологии SDH, она заменяет принятое в PDH выравнивание скоростей асинхронных источников посредством дополнительных битов. Указатель определяет текущее положение виртуального контейнера в агрегированной структуре более высокого уровня, каковой является трибутарный блок (Tributary Unit, TU) либо административный блок (Administrative Unit, AU). Собственно, основное отличие этих блоков от виртуального контейнера заключается в наличии дополнительного поля указателя. С помощью этого указателя виртуальный контейнер может «смещаться» в определенных пределах внутри своего трибутарного или административного блока, если скорость пользовательского потока несколько отличается от скорости кадра SDH, куда этот

поток мультиплексируется. Именно благодаря системе указателей мультиплексор находит положение пользовательских данных в синхронном потоке байтов кадров STM-N и «на лету» извлекает их оттуда, чего механизм мультиплексирования, применяемый в PDH, делать не позволяет.

На рис.2.4 структурные единицы кадра SDH, содержащие указатели, заштрихованы, а связь между контейнерами и блоками, допускающая сдвиг данных по фазе, показана пунктиром. Схема мультиплексирования SDH предоставляет разнообразные возможности по объединению пользовательских потоков PDH. Например, для кадра STM-1 можно реализовать такие варианты:

- 1 поток E-4;
- 63 потока E-1;
- 1 поток E-3 и 42 потока E-1.

Основным элементом сети SDH является мультиплексор (рис. 2.5). Обычно он оснащен некоторым количеством портов PDH и SDH: например, портами PDH на 2 и 34/45 Мбит/с и портами SDH STM-1 на 155 Мбит/с и STM-4 на 622 Мбит/с. Порты мультиплексора SDH делятся на агрегатные и трибутарные.

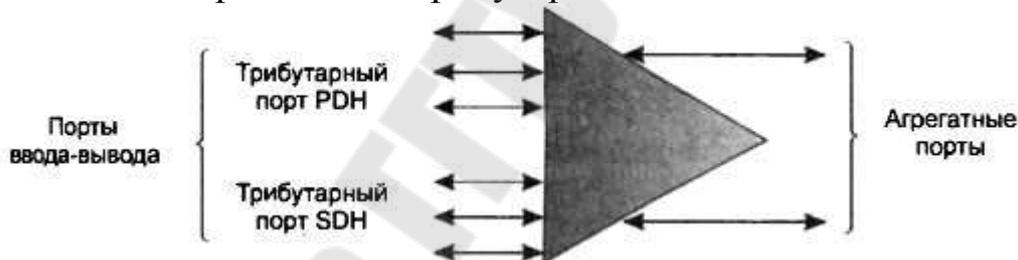


Рисунок 2.5 – Мультиплексор SDH

**Трибутарные порты** часто называют также портами ввода вывода, а агрегатные – линейным и портами. Эта терминология отражает типовые топологии сетей SDH, где имеется ярко выраженная магистраль в виде цепи или кольца, по которой передаются потоки данных, поступающие от пользователей сети через порты ввода-вывода (трибутарные порты), то есть втекающие в агрегированный поток («tributary» дословно означает «приток»).

Мультиплексоры SDH обычно разделяют на два типа, разница между которыми определяется положением мультиплексора в сети SDH (рис. 2.6).

**Терминальный мультиплексор** (Terminal Multiplexer, ТМ) завершает агрегатный канал, мультиплексируя в нем большое количе-

ство трибутарных каналов, поэтому он оснащен одним агрегатным и большим числом трибутарных портов.

**Мультиплексор ввода-вывода (Add-Drop Multiplexer, ADM)** занимает промежуточное положение на магистрали (в кольце, цепи или смешанной топологии). Он имеет два агрегатных порта, транзитом передавая агрегатный поток данных. С помощью небольшого количества трибутарных портов такой мультиплексор вводит в агрегатный поток или выводит из агрегатного потока данные трибутарных каналов.



Рисунок 2.6 – Типы мультиплексоров SDH

Иногда также выделяют мультиплексоры, которые выполняют операции коммутации над произвольными виртуальными контейнерами – так называемые цифровые кроссконнекторы (Digital Cross-Connect, DXC). В таких мультиплексорах не делается различий между агрегатными и трибутарными портами, так как они предназначены для работы в ячеистой топологии, где выделить агрегатные потоки невозможно.

Помимо мультиплексоров, в состав сети SDH могут входить регенераторы сигналов, необходимые для преодоления ограничений по расстоянию между мультиплексорами. Эти ограничения зависят от мощности оптических передатчиков, чувствительности приемников и затухания волоконно-оптического кабеля. Регенератор преобразует оптический сигнал в электрический и обратно, при этом восстанавливается форма сигнала и его временные характеристики. В настоящее время регенераторы SDH применяются достаточно редко, так как стоимость их незначительно ниже стоимости мультиплексора, а функциональные возможности несоизмеримо беднее.

**Стек протоколов SDH** состоит из протоколов 4-х уровней. Эти уровни никак не соотносятся с уровнями модели OSI, для которой вся сеть SDH представляется как оборудование физического уровня.

**Фотонный уровень** имеет дело с кодированием битов информации путем модуляции света. Для кодирования оптического сигнала применяется потенциальный код NRZ, обладающий свойствами самосинхронизации.

**Уровень секции** поддерживает физическую целостность сети. Регенераторной секцией в технологии SDH называется каждый непрерывный отрезок волоконно-оптического кабеля, который соединяет между собой такие, например, пары устройств SONET/SDH, как мультиплексор и регенератор, регенератор и регенератор, но не два мультиплексора. Компоненты регенераторной секции поддерживают протокол, который имеет дело с определенной частью заголовка кадра, называемой заголовком регенераторной секции (Regenerator Section OverHead, RSOH), и который на основе служебной информации может проводить тестирование секции и выполнять операции административного контроля.

**Уровень линии** отвечает за передачу данных по линии между двумя мультиплексорами сети, поэтому линию также часто называют мультиплексной секцией. Протокол этого уровня работает с кадрами уровней STS-N для выполнения различных операций мультиплексирования и демultipлексирования, а также вставки и удаления пользовательских данных. Кроме того, протокол линии ответственен за реконфигурирование линии в случае отказа какого-либо ее элемента – оптического волокна, порта или соседнего мультиплексора. Служебная информация мультиплексной секции располагается в части заголовка кадра, называемой заголовком мультиплексной секции (Multiplex Section OverHead, MSOH).

**Уровень тракта** отвечает за доставку данных между двумя конечными пользователями сети. Тракт – это составное виртуальное соединение между пользователями. Протокол тракта должен принять данные, поступающие в пользовательском формате, например формате T-1, и преобразовать их в синхронные кадры STM-N.

На рис. 2.7 показано распределение протоколов SDH по типам оборудования SDH.

В сетях SDH применяются различные топологии связей. Наиболее часто используются кольца и линейные цепи мультиплексоров,

также находит все большее применение ячеистая топология, близкая к полносвязной.

Кольцо SDH строится из мультиплексов ввода-вывода, имеющих, по крайней мере, по два агрегатных порта (рис. 2.8, а). Пользовательские потоки вводятся в кольцо и выводятся из кольца через трибунтарные порты, образуя двухточечные соединения (на рисунке показаны в качестве примера два таких соединения). Кольцо является классической регулярной топологией, обладающей потенциальной отказоустойчивостью – при однократном обрыве кабеля или выходе из строя мультиплексора соединение сохранится, если его направить по кольцу в противоположном направлении. Кольцо обычно строится на основе кабеля с двумя оптическими волокнами, но иногда для повышения надежности и пропускной способности применяют четыре волокна.

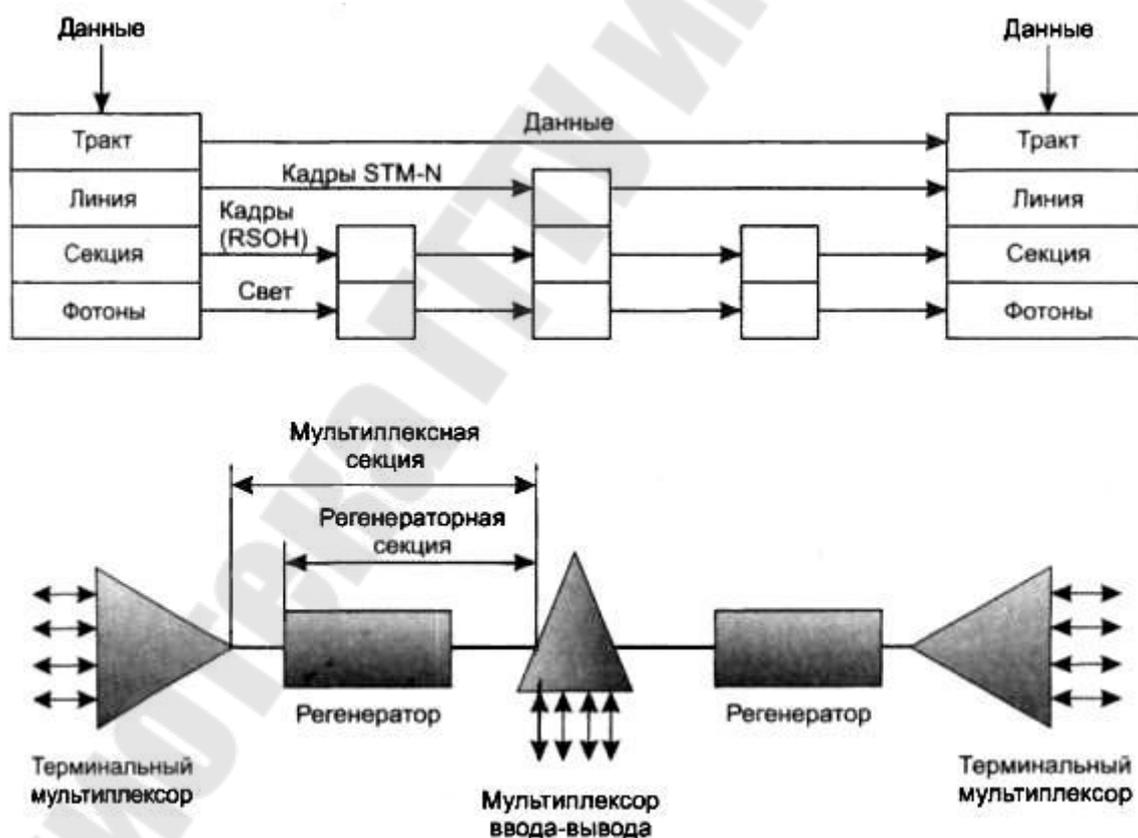


Рисунок 2.7 - Стек протоколов технологии SDH

Цепь (рис. 2.8, б) – это линейная последовательность мультиплексов, из которых два конечных играют роль терминальных мультиплексов, остальные – мультиплексов ввода-вывода. Обыч-

но сеть с топологией цепи применяется в тех случаях, когда узлы имеют соответствующее географическое расположение, например вдоль магистрали железной дороги или трубопровода. Правда, в таких случаях может применяться и плоское кольцо (рис. 2.8, в), обеспечивающее более высокий уровень отказоустойчивости за счет двух дополнительных волокон в магистральном кабеле и по одному дополнительному агрегатному порту у терминальных мультиплексоров.

Эти базовые топологии могут комбинироваться при построении сложной и разветвленной сети SDH, образуя участки с радиально-кольцевой топологией, соединениями «кольцо-кольцо» и т. п. Наиболее общим случаем является ячеистая топология (рис. 2.8, г), при которой мультиплексоры соединяются друг с другом большим количеством связей, за счет чего сеть можно достичь очень высокой степени производительности и надежности.

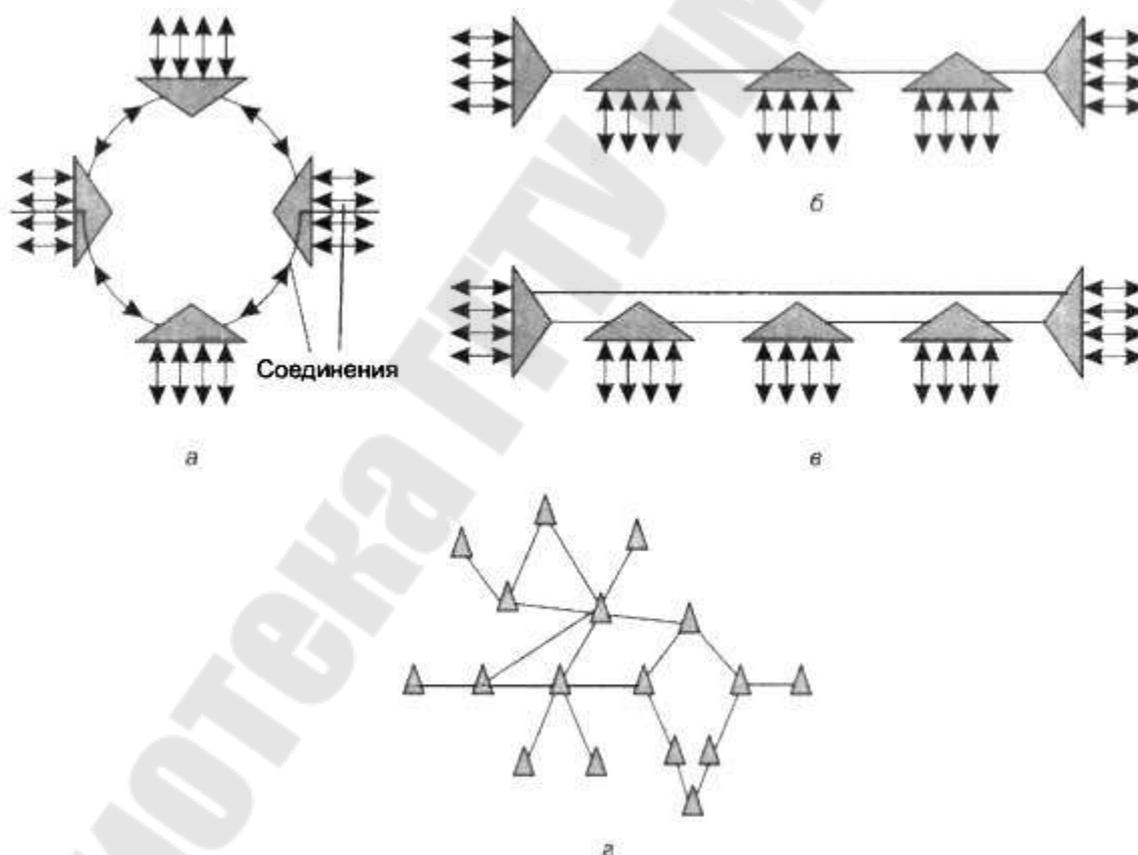


Рисунок 2.8 – Типовые топологии сети

Одной из сильных сторон первичных сетей SDH является разнообразный набор средств отказоустойчивости, который позволяет сети быстро (за десятки миллисекунд) восстановить работоспособность в

случае отказа какого-либо элемента сети – линии связи, порта или карты мультиплексора, мультиплексора в целом.

В SDH в качестве общего названия механизмов отказоустойчивости используется термин автоматическое защитное переключение (Automatic Protection Switching, APS), отражающий факт перехода (переключения) на резервный путь или резервный элемент мультиплексора при отказе основного. Сети, поддерживающие такой механизм, в стандартах SDH названы самовосстанавливающимися.

В сетях SDH применяются три схемы защиты.

Защита 1+1 означает, что резервный элемент выполняет ту же работу, что и основной. Например, при защите трибутарной карты по схеме 1 + 1 трафик проходит как через рабочую карту (резервируемую), так и через защитную (резервную).

Защита 1:1 подразумевает, что защитный элемент в нормальном режиме не выполняет функции защищаемого элемента, а переключается на них только в случае отказа.

Защита 1:N предусматривает выделение одного защитного элемента на N защищаемых. При отказе одного из защищаемых элементов его функции начинает выполнять защитный, при этом остальные элементы остаются без защиты – до тех пор, пока отказавший элемент не будет заменен.

В зависимости от типа защищаемого путем резервирования элемента сети в оборудовании и сетях SDH применяются следующие основные виды автоматической защиты: защитное переключение оборудования, защита карт, защита мультиплексной секции, защита сетевого соединения, разделяемая защита мультиплексной секции в кольцевой топологии.

Защитное переключение оборудования (Equipment Protection Switching, EPS) – защита блоков и элементов оборудования SDH. Применяется для таких жизненно важных элементов мультиплексора, как процессорный блок, блок коммутации (кросс-коннектор), блок питания, блок ввода сигналов синхронизации и т. п. EPS обычно работает по схеме 1 + 1 или 1:1.

Защита карт (Card Protection, CP) – защита агрегатных и трибутарных карт мультиплексора; позволяет мультиплексору автоматически продолжать работу в случае отказа одной из агрегатных или трибутарных карт. Используется защита по схемам 1 + 1, 1:1 и 1:N. Защита 1 + 1 обеспечивает непрерывность транспортного сервиса, так как трафик пользовательских соединений не прерывается при отказе

карты. В приведенном на рис. 1 примере в мультиплексоре поддерживается защита трибутарных двухпортовых карт по схеме 1 + 1.

Одна из трибутарных карт является основной, или рабочей, другая – защитной. Режим работы пары связанных таким образом карт задается командой конфигурирования мультиплексора. В режиме, когда обе трибутарные карты являются работоспособными, трафик обрабатывается параллельно каждой картой.

Для переключения трафика между трибутарными картами используется дополнительная карта-переключатель. Входящий трафик каждого порта поступает на входной мост карты переключателя, который разветвляет трафик и передает его на входы соответствующих портов трибутарных карт. Агрегатная карта получает оба сигнала STM-N от трибутарных карт и выбирает сигнал только от активной в данный момент карты. Исходящий трафик от агрегатной карты также обрабатывается обеими трибутарными картами, но карта переключатель передает на выход только трафик от активной карты.

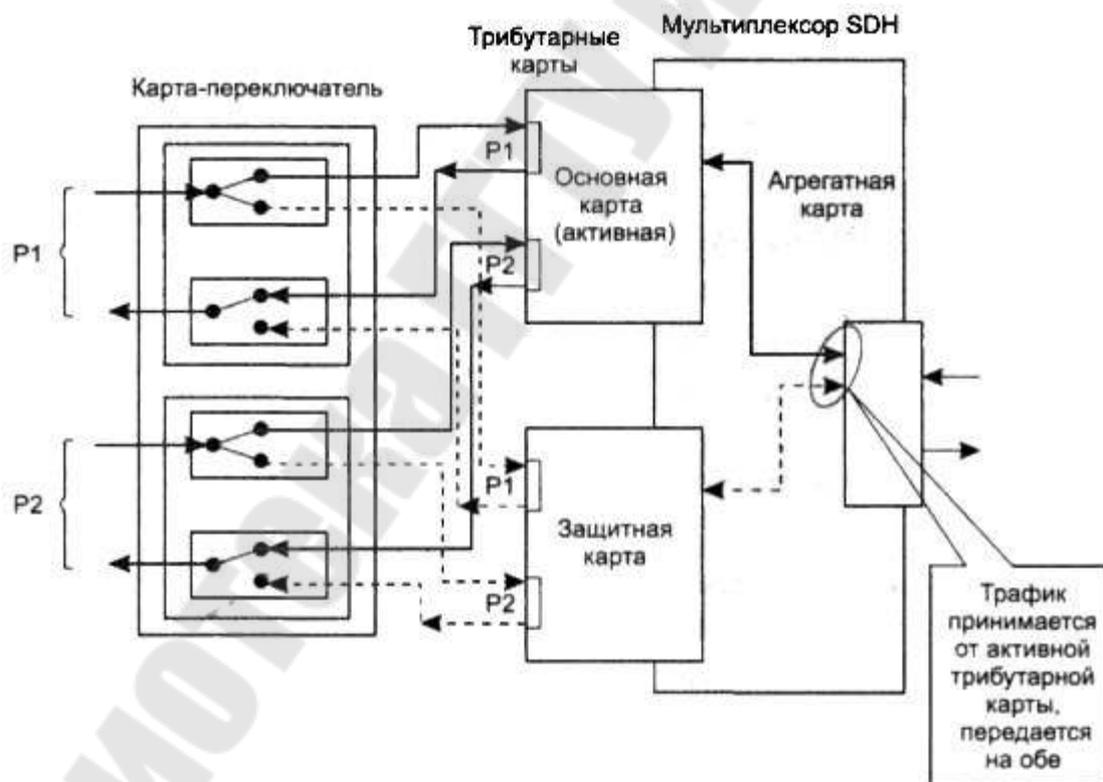


Рисунок 2.9 – Защита карт по схеме 1 + 1

При отказе основной карты или другом событии, требующем перехода на защитную карту (деградация сигнала, ошибка сигнала, удаление карты), агрегатная карта по команде от блока управления мульти-

типлексором переходит на прием сигнала от защитной трибутарной карты. Одновременно карта-переключатель также начинает передавать на выход сигналы выходящего трафика от защитной карты.

Данный способ обеспечивает автоматическую защиту всех соединений, проходящих через защищаемую карту. При установлении защиты типа CP конфигурация соединений рабочей карты дублируется для защитной карты.

Защита мультиплексной секции (Multiplex Section Protection, MSP), то есть участка сети между двумя смежными мультиплексорами SDH, действует более избирательно по сравнению с защитой карт. Защищается секция между двумя мультиплексорами, включающая два порта и линию связи (возможно, в свою очередь, включающую регенераторы, но не мультиплексоры). Обычно применяется схема защиты 1 + 1. При этом для рабочего канала (верхняя пара соединенных кабелем портов на рис. 2.10, а) конфигурируется защитный канал (нижняя пара портов). При установлении защиты MSP в каждом мультиплексоре необходимо выполнить конфигурирование, указав связь между рабочим и защитным портами. В исходном состоянии весь трафик передается по обоим каналам (как по рабочему, так и по защитному).

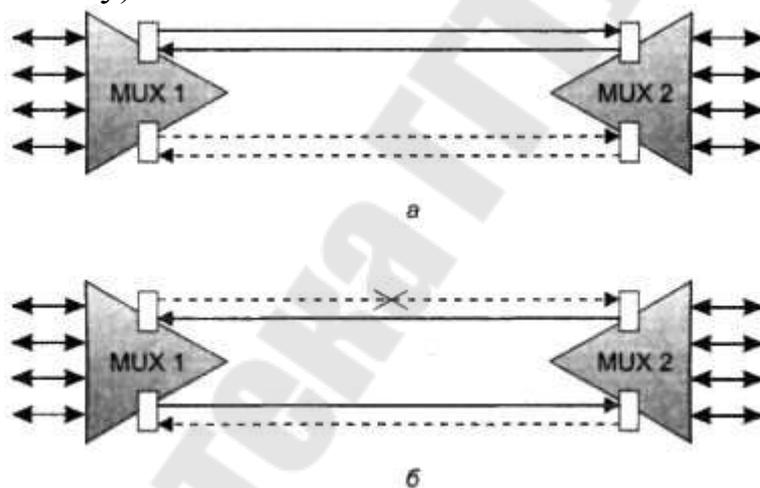


Рисунок 2.10 – Защита мультиплексной секции

Существует однонаправленная и двунаправленная защита MSP. При однонаправленной защите (именно этот случай показан на рисунке) решение о переключении принимает только один из мультиплексоров – тот, который является приемным для отказавшего канала. Этот мультиплексор после обнаружения отказа (отказ порта, ошибка сигнала, деградация сигнала и т. п.) переходит на прием по защитно-

му каналу. При этом передача и прием ведутся по разным портам (рис. 2.10, б).

В случае двунаправленной защиты MSP при отказе рабочего канала в каком-либо направлении выполняется полное переключение на защитные порты мультиплексоров. Для уведомления передающего (по рабочему каналу) мультиплексора о необходимости переключения принимающий мультиплексор использует протокол, называемый протоколом «К-байт».

Этот протокол указывает в двух байтах заголовка кадра STM-N статус рабочего и защитного каналов, а также детализирует информацию об отказе. Механизм MSP обеспечивает защиту всех соединений, проходящих через защищаемую мультиплексную секцию.

Защита сетевого соединения (Sub-Network Connection Protection, SNC-P), то есть защита пути (соединения) через сеть для определенного виртуального контейнера, обеспечивает переключение определенного пользовательского соединения на альтернативный путь при отказе основного пути. Объектом защиты SNC-P является трибутарный трафик, помещенный в виртуальный контейнер определенного типа (например, в VC-12, VC-3 или VC-4). Используется схема защиты 1+1.

Защита SNC-P конфигурируется в двух мультиплексорах: во входном, в котором трибутарный трафик, помещенный в виртуальный контейнер, разветвляется, и в выходном, в котором сходятся два альтернативных пути трафика. Пример защиты SNC-P показан на рис. 3. В мультиплексоре ADM 1 для виртуального контейнера VC-4 трибутарного порта T2 заданы два соединения: с одним из четырех контейнеров VC-4 агрегатного порта A1 и с одним из четырех контейнеров VC-4 агрегатного порта A2. Одно из соединений конфигурируется как рабочее, второе – как защитное, при этом трафик передается по обоим соединениям. Промежуточные (для данных соединений) мультиплексоры конфигурируются обычным образом. В выходном мультиплексоре контейнер VC-4 трибутарного порта T3 также соединяется с контейнерами – агрегатного порта A1 и агрегатного порта A2. Из двух поступающих на порт T3 потоков выбирается тот, качество которого выше (при равном нормальном качестве выбирается сигнал из агрегатного порта, указанного при конфигурировании в качестве рабочего).

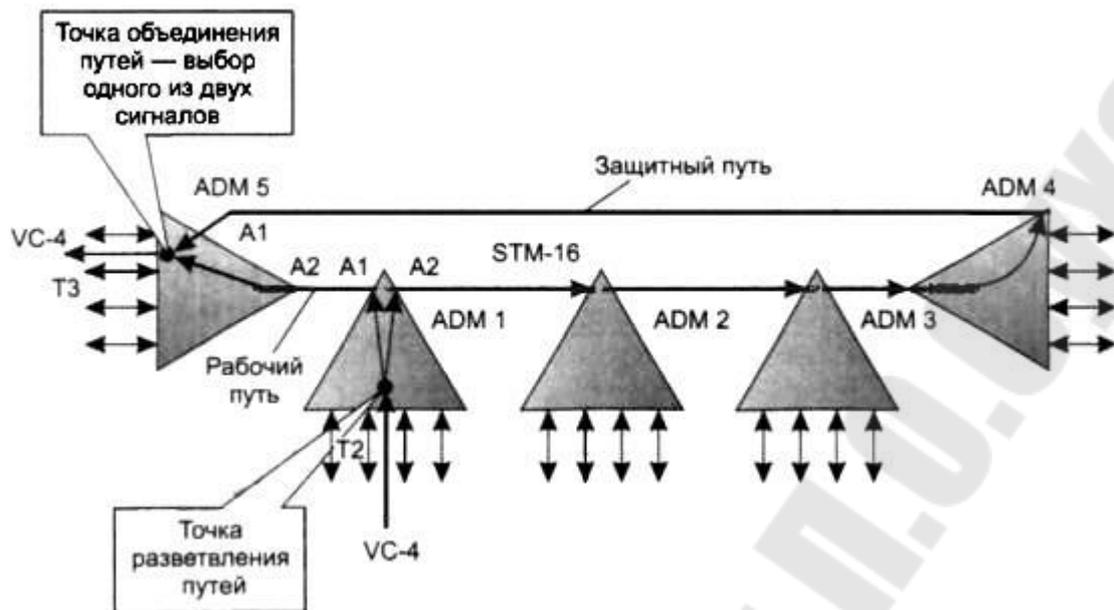


Рисунок 2.11 – Защита сетевого соединения

Защита SNC-P работает в любых топологиях сетей SDH, в которых имеются альтернативные пути следования трафика, то есть кольцевых и ячеистых.

Разделяемая защита мультиплексной секции в кольцевой топологии (Multiplex Section Shared Protection Ring, MS-SPRing) обеспечивает в некоторых случаях более экономичную защиту трафика в кольце. Хотя защита SNC-P вполне подходит для кольцевой топологии сети SDH, в некоторых случаях ее применение снижает полезную пропускную способность кольца, так как каждое соединение потребляет удвоенную полосу пропускания вдоль всего кольца. Так, в кольце STM-16 можно установить только 16 защищенных по типу SNC-P соединений VC-4 (рис.2.12).

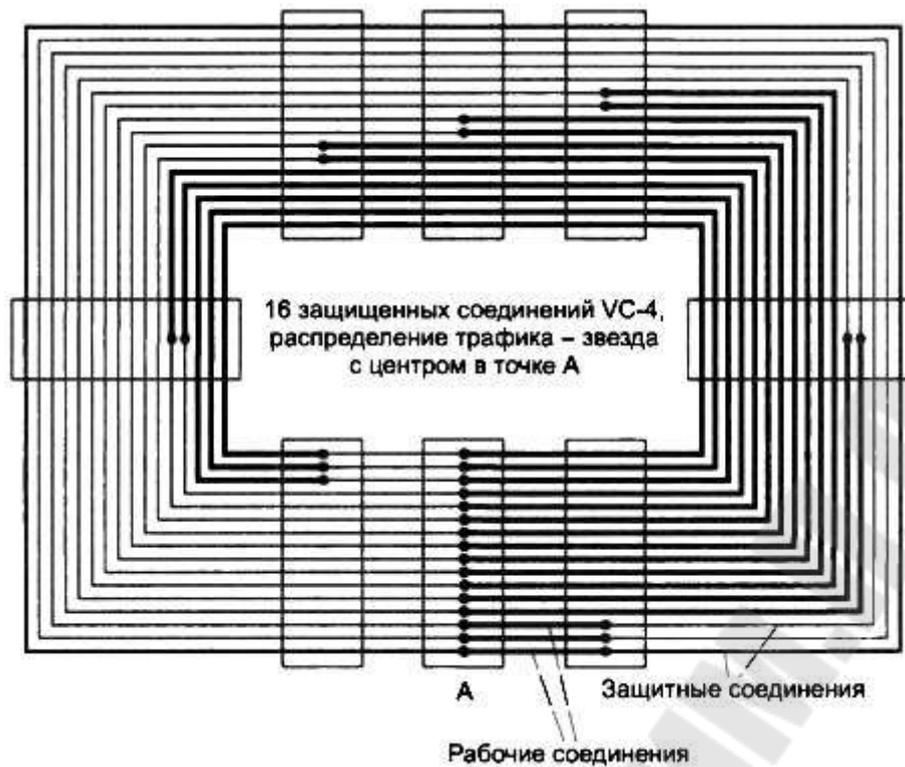


Рисунок 2.12 – Защита SNC-P в кольце

Защита MS-SPRing позволяет использовать пропускную способность кольца более эффективно, так как полоса пропускания не резервируется заранее для каждого соединения.

Вместо этого резервируется половина пропускной способности кольца, но эта резервная полоса выделяется для соединений динамически, по мере необходимости, то есть после обнаружения факта отказа линии или мультиплексора. Степень экономии полосы при применении защиты MS-SPRing зависит от распределения трафика. Если весь трафик сходится в один мультиплексор, то есть имеется звездообразное распределение, защита fvlS-SPRing экономии по сравнению с SNC-P вообще не дает. Пример такой ситуации представлен на рис. 2.13, а, где центром «тяготения» трафика является мультиплексор Л, а в кольце установлены те же 16 защищенных соединений, что и в примере защиты SNC-P на рис.2.12. Для защиты соединений резервируется 8 из 16 виртуальных контейнеров агрегатного потока STM-16.

При возникновении неисправности, например обрыве линии, как это показано на рис. 2.13, б), трафик в мультиплексорах, между которыми нарушилась связь, «разворачивается» в обратном направлении. Для этого используются резервные виртуальные контейнеры агрегатных портов, с которыми соединяются виртуальные контейнеры по-

страдавших соединений. В то же время соединения, на которые отказ не повлиял, работают в прежнем режиме, не подключая резервные контейнеры. Для уведомления мультиплексоров о реконфигурировании кольца служит уже упоминавшийся протокол «К-байт».

Время переключения на защитные соединения MS-SPRing составляет около 50 мс. При смешанном распределении трафика экономия полосы в кольце MS-SPRing может быть еще более значительной.

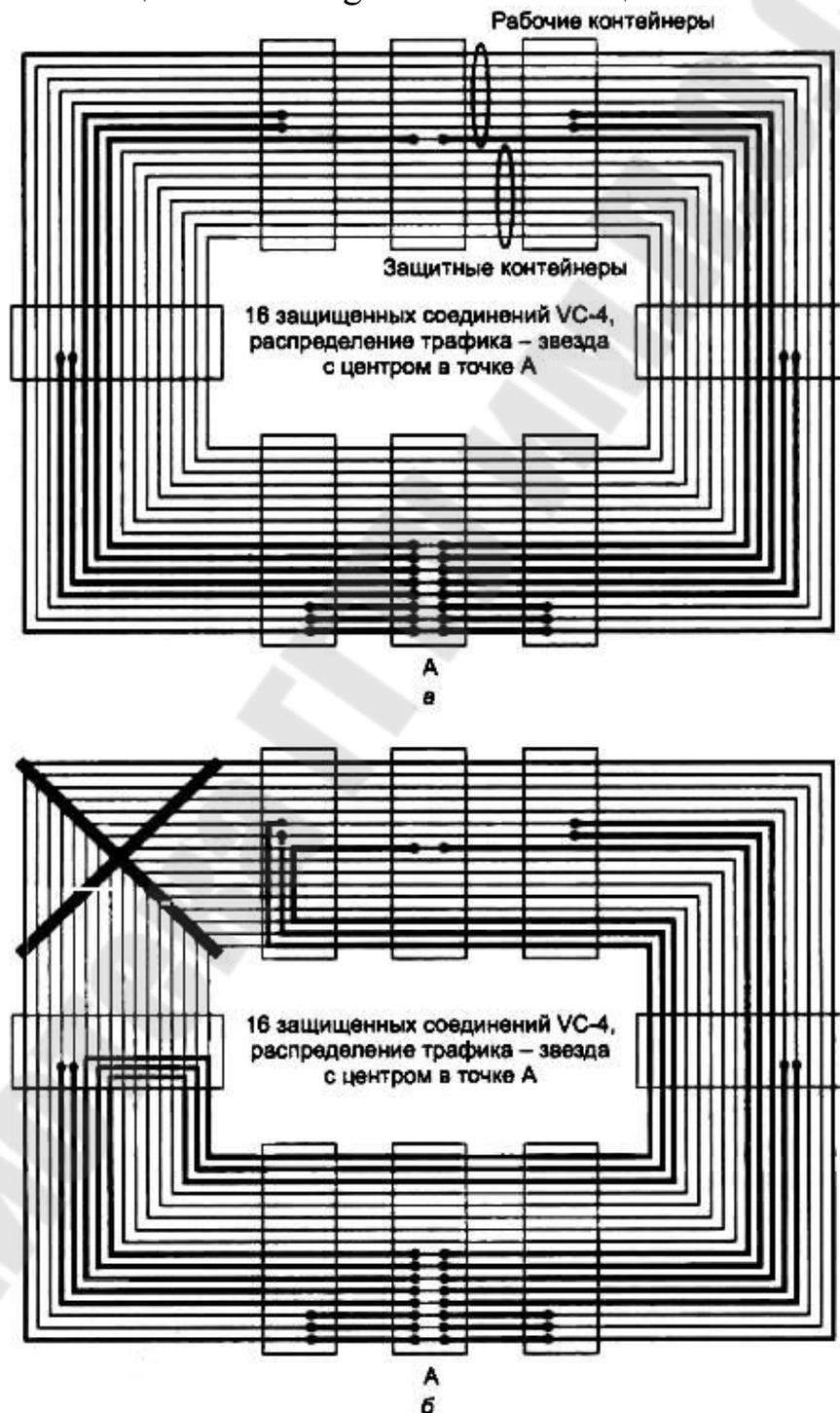


Рисунок 2.13 – Защита с разделением кольца

Различные варианты архитектуры MSP используются в различных схемах резервирования. Наибольшее распространение имеют две схемы, непосредственно связанные с кольцевой топологией сетей SDH -схема «горячего резервирования» (рис. 2.14, а) и схема распределенной нагрузки (рис. 2.14, б). В первом случае трафик передается как в прямом, так и в резервном направлении. В случае повреждения происходит реконфигурация и создается резервный канал. В схеме распределенной нагрузки половина графика передается в прямом, половина - в обратном направлении. В этом случае при возникновении неисправности происходит переключение на уровне ресурсов.

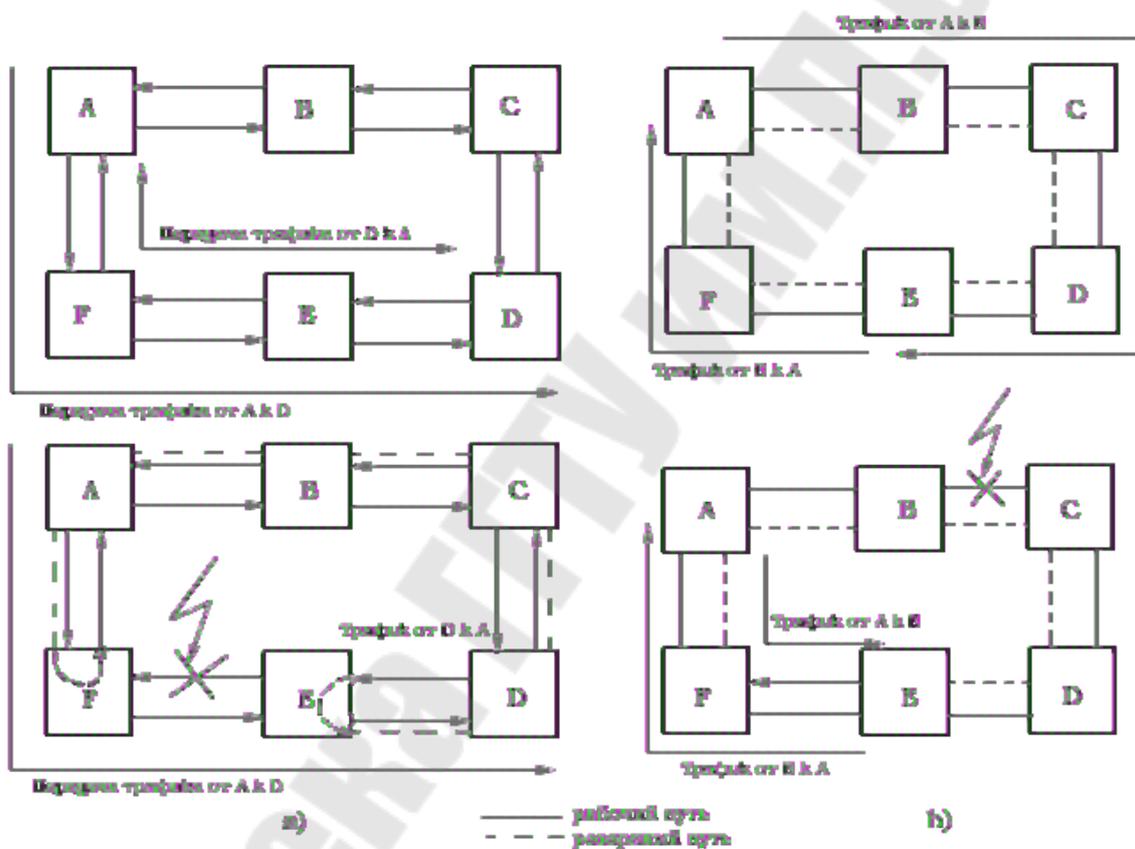


Рисунок 2.14 – Схемы резервирования в системах SDH

#### 1.4. Пример

В районе построено 6 цифровых АТС. Используя технологию SDH, требуется связать все станции в единую сеть. Цифровые соединительные линии используют поток Е-1. Существующий сетевой трафик, пересчитанный на число каналов 2

Мбит/с, представлен в табл. 2.2, при этом часть каналов должна иметь 100 % резервирование, они представлены в той же таблице, справа от основного трафика. По этим данным, приняв ячеистую топологию, необходимо рассчитать объем необходимого оборудования.

Таблица 2.2

Сетевой межстанционный трафик

<i>A</i>	<i>A</i>		65	12	45	9	75	15	20	5	10	6
<i>B</i>	65	12	<i>B</i>		15	5	12	5	9	3	7	3
<i>C</i>	45	9	15	5	<i>C</i>		8	6	4	1		
<i>D</i>	75	15	12	5	8	6	<i>D</i>				5	2
<i>E</i>	20	5	9	3	4	1			<i>E</i>		3	0
<i>F</i>	10	6	7	3			5	2	3	0	<i>F</i>	
Сумма	215	47	108	28	72	21	100	28	36	9	25	11

Для решения поставленной задачи требуется выполнить ряд действий:

- Выбрать топологию;
- Выбрать требуемый уровень и число мультиплексоров;
- Выбрать оборудование и номенклатуру сменных блоков;
- Сконфигурировать мультиплексорные узлы и составить спецификацию оборудования.

#### 1.4.1. Выбор топологии

Рассмотрим две возможные топологии: кольцевую и ячеистую.

**Кольцевая топология**, объединяя все шесть станций в кольцо, требует использования мультиплексоров уровня STM-4 с суммарным потоком до 252 ( $4 \times 63 = 252$ ) каналов 2 Мбит/с, так как общий поток по кольцу, определяемый максимальным потоком на одном из его участков, равен 212 каналов 2 Мбит/с (табл. 2.2 – поток через узел А). Преимуществом такого решения может быть резервирование всех, а не только требуемых, каналов.

**Ячеистая топология** может иметь вид, приведенный на рис. 2.15. Ячеистая сеть состоит из двух квадратных ячеек и содержит шесть узлов. Каждый из них соответствует мультиплексору уровня STM-N, установленному на цифровой АТС. В нашем случае в узлах А, В, С,

D – мультиплексоры уровня STM-4, а в узлах E и F – уровня STM-1 (потоки через узлы E и F несут меньше 63 каналов).

Эта схема приводит к минимальному числу требуемых мультиплексоров различных уровней. Вопросы защиты решаются путем направления защищаемого канала по двум маршрутам с совпадающими конечными точками. Например, для маршрута  $A \rightarrow B$  имеем резервный маршрут  $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow B$ . Такая схема защиты требует тщательного расчета числа потоков, проходящих по отдельным ветвям сети для того, чтобы убедиться, что суммарный поток не превышает возможности узлового мультиплексора.

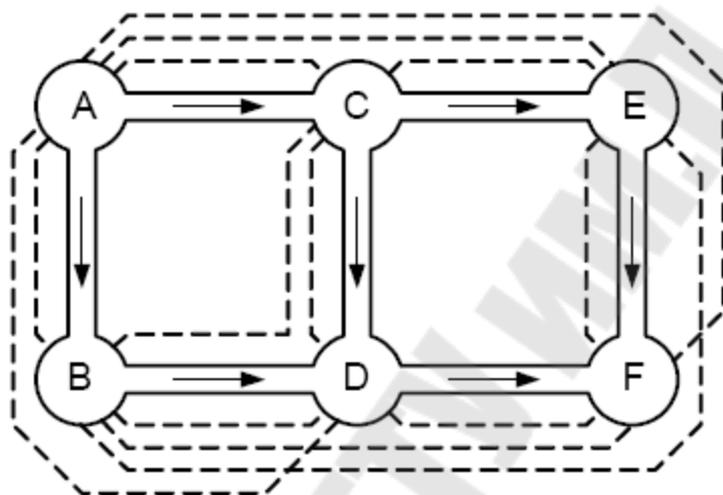


Рисунок 2.15 – Схема простой ячеистой сети SDH

Стрелками показаны направления основных потоков в сегментах сети, пунктирными линиями – потоки данных согласно табл. 2.2.

Рассмотрим эту проверку. Представим в виде рис. 2.15 все потоки из табл. 2.2 так, чтобы плотность потоков была по возможности одинаковой. Резервные маршруты следует выбрать в пределах одной ячейки.

Для построения основного маршрута выполним следующие операции:

- а) выберем сегмент  $i - j$  между двумя соседними узлами;
- б) занесем в столбец  $i - j$  значение потока от каждого узла;
- в) определим суммарный основной поток данных от всех узлов через данный сегмент.

Для построения резервного маршрута выполним следующие операции:

- а) выберем резервный маршрут  $i - k - m - n - j$  для основного сегмента

$i - j$ ;

б) занесем в столбцы  $i - k$ ,  $k - m$ ,  $m - n$  и  $n - j$  значение резервного потока через сегмент  $i - j$ .

После этого заполним табл. 2.3 (защищаемые потоки помечены буквой «р»).

Таблица 2.3

**Основные и резервные потоки в сегментах ячеистой сети**

<i>A-B</i>		<i>A-C</i>		<i>B-D</i>		<i>C-D</i>		<i>C-E</i>		<i>D-F</i>		<i>E-F</i>	
<i>AB</i>	65	<i>AC</i>	45	<i>BD</i>	12	<i>CD</i>	8	<i>CE</i>	4	<i>DF</i>	5	<i>EF</i>	3
<i>AD</i>	75	<i>AE</i>	20	<i>BC</i>	15	<i>BC</i>	15	<i>AE</i>	20	<i>BF</i>	7	<i>BE</i>	9
<i>AC(p)</i>	9	<i>AF</i>	10	<i>BE</i>	9	<i>AB(p)</i>	12	<i>AF</i>	10	<i>BE</i>	9	<i>AF</i>	10
<i>BD(p)</i>	5	<i>AB(p)</i>	12	<i>BF</i>	7	<i>AC(p)</i>	9	<i>BE(p)</i>	3	<i>AE(p)</i>	5	<i>AE(p)</i>	5
<i>CD(p)</i>	6	<i>AD(p)</i>	15	<i>AD</i>	75	<i>AD(p)</i>	15	<i>BF(p)</i>	2	<i>AF(p)</i>	6	<i>BF(p)</i>	3
<i>AE(p)</i>	5	<i>BD(p)</i>	5	<i>AB(p)</i>	12	<i>BD(p)</i>	5	<i>DF(p)</i>	2	<i>CE(p)</i>	1	<i>CE(p)</i>	1
<i>AF(p)</i>	6	<i>CD(p)</i>	6	<i>AC(p)</i>	9	<i>CE(p)</i>	1	<i>EF(p)</i>	3	<i>EF(p)</i>	3	<i>DF(p)</i>	2
<i>BC(p)</i>	5	<i>BC(p)</i>	5	<i>CD(p)</i>	6	<i>DF(p)</i>	2						
<i>BE(p)</i>	3	<i>BE(p)</i>	3	<i>AE(p)</i>	5	<i>EF(p)</i>	0						
<i>BF(p)</i>	3	<i>BF(p)</i>	3	<i>AF(p)</i>	6								
Сумма	182		124		156		67		41		33		33

**1.4.2. Выбор требуемого уровня и числа мультиплексов**

Полученная табл. 2.3 подтверждает правильность выбора уровней мультиплексов в узлах  $A - F$  и может служить показателем эффективности использования коммутационной способности узлов. Число мультиплексов уровня STM-4 – четыре, а уровня STM-1 – два.

**1.4.3. Выбор оборудования и номенклатуры сменных блоков**

Для конфигурации узлов, кроме топологии сети (рис. 2.15) и той информации, которая содержится в табл. 2.2 и 2.3, нужно иметь номенклатуру функциональных сменных блоков. Для этого необходима привязка к оборудованию конкретного производителя, например, к оборудованию компании Nokia.

Номенклатура сменных блоков SDM компании Nokia:

– **2М** – компонентный интерфейсный блок 2 Мбит/с – интерфейсная карта на 16 портов 2 Мбит/с без терминального адаптера (ТА), функционирует только -при наличии блока 2МТА (до трех карт 2М на одну карту 2МТА);

– **2МТА** – компонентный интерфейсный блок 2 Мбит/с – интерфейсная карта на 16 портов 2 Мбит/с с терминальным адаптером (ТА);

– **STM-1** – линейный оптический агрегатный блок 155 Мбит/с;

- **STM-1E** – линейный электрический агрегатный блок 155 Мбит/с;
- **STM-4** – линейный оптический агрегатный блок 622 Мбит/с;
- **SSW** – блок системного кросс-коммутатора – центральный блок кросс-коммутатора типа DXС-4/4/1 с эквивалентной емкостью коммутации 16×AU-4 для коммутации VC-4, VC-12;
- **TSW1** – терминальный блок системного кросс-коммутатора – блок синхронизации AU-12 и AU-4 на входе для осуществления кросс-коммутации;
- **CU** – блок управления и синхронизации;
- **SPIU** – блок питания полки (кассеты);
- **SU** – блок обслуживания интерфейсов.

#### ***1.4.4. Конфигурация мультиплексорных узлов и составление спецификации оборудования***

Каждый мультиплексор должен содержать следующие блоки: **SSW**, **CU**, **SPIU** и **SU**. Число блоков **STM-4**, **STM-1** и **TSW1** определяется потоками в сегментах сети (для уровня SDH-4 в мультиплексор устанавливается блок **TSW1**). Число блоков **2МТА** и **2М** определяется потоками из узла (табл. 2.2).

Например, для узла *A*:

Число потоков E-1 из узла *A* равно 215 (табл. 2.2). Следовательно, число компонентных плат **2М** равно четырнадцать (215/16=13,43). Поскольку в один мультиплексор возможно установить до четырех таких плат, то потребуется четыре блока мультиплексоров. Причем основной мультиплексор должен быть укомплектован тремя платами **STM-1** для связи с тремя субблоками, в которые устанавливаются компонентные платы **2М**.

Таким образом, в узел *A* установим:

- две платы **STM-4** (тип платы и их количество обозначим **STM-4(n)**), поскольку связь с соседними узлами осуществляется с помощью **STM-4**;
- **TSW1(2)**, т. к. в мультиплексоре будут установлены платы **STM-1**;
- **STM-1(3)**, для связи с тремя субблоками **STM-1**;
- **2МТА** и **2М(3)** (63 канала E-1).

Узлы *A1–A3* (табл. 2.4) совместно с блоком *A* позволят ввести 215 потоков E-1, соответственно 63, 63, 26 и 63 потока E-1.

Таблица 2.4

**Состав оборудования узлов сети SDH**

Узел	Состав оборудования SSW, CU, SPIU, SU +
<i>A</i>	STM-4(2), TSW1(2), STM-1(3), 2МТА и 2М(3)
<i>A1</i>	STM-1, 2МТА и 2М(3)
<i>A2</i>	STM-1, 2МТА и 2М(3)
<i>A3</i>	STM-1, 2МТА и 2М
<i>B</i>	STM-4(2), TSW1(2), 2МТА(2) и 2М(5)
<i>C</i>	STM-4(2), TSW1(2), STM-1, 2МТА(2) и 2М(3)
<i>D</i>	STM-4(2), TSW1(2), STM-1, 2МТА(2) и 2М(5)
<i>E</i>	STM-1(2), 2МТА и 2М(2)
<i>F</i>	STM-1(2), 2МТА и 2М

**Задание к лабораторной работе**

Самостоятельно сформировать индивидуальную таблицу межстанционного трафика. Выполнить пункты 1.4.1–1.4.4. для своего варианта. Оборудование можно выбрать не опираясь на продукцию Nokia.

**Требование к отчету**

В отчете должны быть отображены следующие пункты:

1. Задание.
2. Теория (при необходимости).
3. Исходные данные.
4. Ход решения поставленной задачи с комментариями.
5. Выводы.

**Контрольные вопросы**

1. Проведите сравнение PDH и SDH.
2. Приведите и поясните основные виды топологий сети SDH.

3. Поясните взаимодействие узлов коммутации телефонной сети общего пользования при использовании технологии SDH.

4. Назовите существующие уровни SDH и объясните процесс формирования синхронного транспортного модуля STM-4.

5. Схемы автоматической защитной коммутации – АЗК в SDH технологиях.

6. Особенности модернизации кольцевых сетей при физическом росте сети.

7. Что такое поток E1.

8. Для чего нужны мультиплексоры в сетях SDH.

9. Перечислите и поясните основные факторы, влияющие на длину регенерационного участка, построенного с использованием оптоволоконной линии связи.

10. Приведите основные способы увеличения скорости передачи данных в сетях связи, построенных с использованием оптоволоконных линий связи.

## Лабораторная работа № 6 Сети ETHERNET и FAST ETHERNET

**Цель работы:** проектирование сети Ethernet и Fast Ethernet.

### Теоретические сведения

#### *1.1. Проводные линии связи*

Сегодня как для внутренней (кабели зданий), так и для внешней проводки чаще всего применяются три класса проводных линий связи:

- витая пара;
- коаксиальные кабели;
- волоконно-оптические кабели.

Витой парой называется скрученная пара проводов. Этот вид среды передачи данных очень популярен и составляет основу большого количества как внутренних, так и внешних кабелей. Кабель может состоять из нескольких скрученных пар (внешние кабели иногда содержат до нескольких десятков таких пар).

Скручивание проводов снижает влияние внешних и взаимных помех на полезные сигналы, передаваемые по кабелю.

Основные особенности конструкции кабелей схематично показаны на рис. 3.1.

Кабели на основе витой пары являются симметричными, то есть они состоят из двух одинаковых в конструктивном отношении проводников. Симметричный кабель на основе витой пары может быть как экранированным, так и неэкранированным.

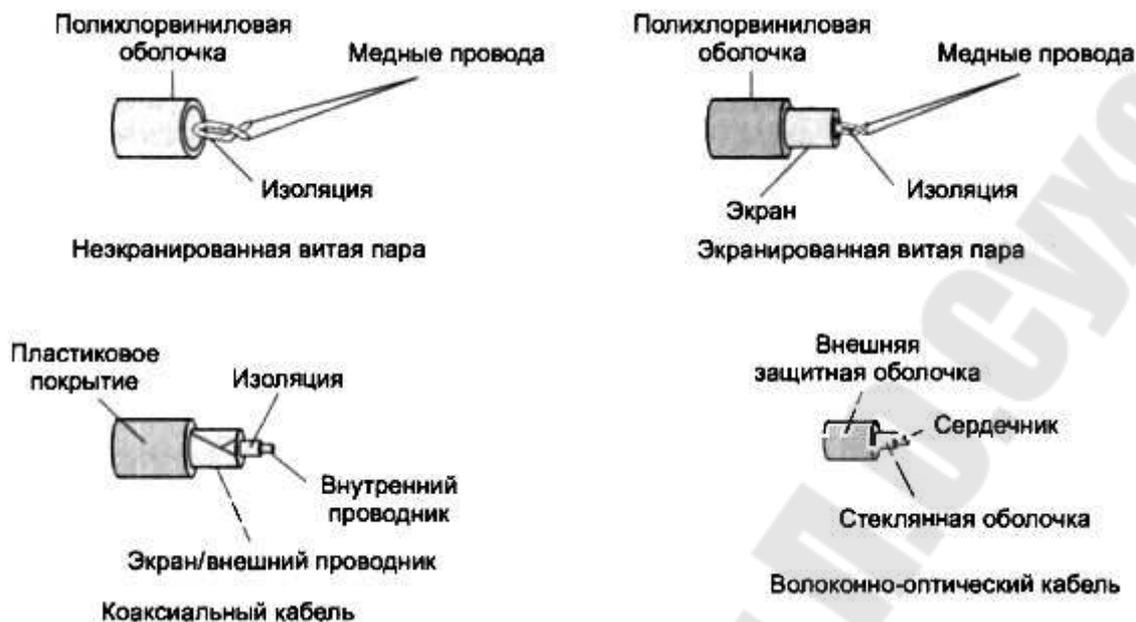


Рисунок 3.1 – Структура проводных линий связи

Нужно отличать электрическую изоляцию проводящих жил, которая имеется в любом кабеле, от электромагнитной изоляции. Первая состоит из непроводящего диэлектрического слоя – бумаги или полимера, например поливинилхлорида или полистирола. Во втором случае помимо электрической изоляции проводящие жилы помещаются также внутрь электромагнитного экрана, в качестве которого чаще всего применяется проводящая медная оплетка.

Кабель на основе неэкранированной витой пары, используемый для проводки внутри здания, разделяется в международных стандартах на *категории* (от 1 до 7).

– Кабели категории 1 применяются там, где требования к скорости передачи минимальны. Обычно это кабель для цифровой и аналоговой передачи голоса и низкоскоростной (до 20 Кбит/с) передачи данных. До 1983 года это был основной тип кабеля для телефонной разводки.

– Кабели категории 2 были впервые применены фирмой IBM при построении собственной кабельной системы. Главное требование к кабелям этой категории – способность передавать сигналы со спектром до 1 МГц.

– Кабели категории 3 были стандартизованы в 1991 году. Стандарт EIA-568 определил электрические характеристики кабелей для частот в диапазоне до 16 МГц. Кабели категории 3, предназначенные

как для передачи данных, так и для передачи голоса, составляют сейчас основу многих кабельных систем зданий.

– Кабели категории 4 представляют собой несколько улучшенный вариант кабелей категории 3. Кабели категории 4 обязаны выдерживать тесты на частоте передачи сигнала 20 МГц и обеспечивать повышенную помехоустойчивость и низкие потери сигнала. На практике используются редко.

– Кабели категории 5 были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов. Их характеристики определяются в диапазоне до 100 МГц. Большинство высокоскоростных технологий (FDDI, Fast Ethernet, ATM и Gigabit Ethernet) ориентировано на использование витой пары категории 5. Кабель категории 5 пришел на замену кабелю категории 3, и сегодня все новые кабельные системы крупных зданий строятся именно на этом типе кабеля (в сочетании с волоконно-оптическим).

– Особое место занимают кабели категорий 6 и 7, которые промышленность начала выпускать сравнительно недавно. Для кабеля категории 6 характеристики определяются до частоты 250 МГц, а для кабелей категории 7 – до 600 МГц. Кабели категории 7 обязательно экранируются, причем как каждая пара, так и весь кабель в целом. Кабель категории 6 может быть как экранированным, так и неэкранированным. Основное назначение этих кабелей – поддержка высокоскоростных протоколов на отрезках кабеля большей длины, чем кабель UTP категории 5.

Все кабели UTP независимо от их категории выпускаются в 4-парном исполнении. Каждая из четырех пар кабеля имеет определенный цвет и шаг скрутки. Обычно две пары предназначены для передачи данных, две – для передачи голоса.

Экранированная витая пара хорошо защищает передаваемые сигналы от внешних помех, а также меньше излучает электромагнитные колебания вовне, что, в свою очередь, защищает пользователей сетей от вредного для здоровья излучения. Наличие заземляемого экрана удорожает кабель и усложняет его прокладку.

Основным стандартом, определяющим параметры экранированной витой пары для применения внутри зданий, является фирменный стандарт IBM. В этом стандарте кабели делятся не на категории, а на типы от 1 до 9 включительно.

Рассмотрим для примера кабель типа 1 стандарта IBM. Он состоит из 2-х пар скрученных проводов, экранированных проводящей оп-

леткой, которая заземляется. Электрические параметры кабеля типа 1 примерно соответствуют параметрам кабеля UTP категории 5. Однако волновое сопротивление кабеля типа 1, равное 150 Ом, значительно выше волнового сопротивления UTP категории 5 (100 Ом), поэтому невозможно «улучшение» кабельной проводки сети путем простой замены неэкранированной пары экранированной парой типа 1. Передатчики, рассчитанные на работу с кабелем, имеющим волновое сопротивление 100 Ом, будут плохо работать на волновое сопротивление 150 Ом.

**Коаксиальный кабель** состоит из несимметричных пар проводников. Каждая пара представляет собой внутреннюю медную жилу и соосную с ней внешнюю жилу, которая может быть полый медной трубой или оплеткой, отделенной от внутренней жилы диэлектрической изоляцией. Внешняя жила играет двойную роль – по ней передаются информационные сигналы и она является экраном, защищающим внутреннюю жилу от внешних электромагнитных полей. Существует несколько типов коаксиального кабеля, отличающихся характеристиками и областями применения: для локальных компьютерных сетей, для глобальных телекоммуникационных сетей, для кабельного телевидения и т. п.

Согласно современным стандартам коаксиальный кабель не считается хорошим выбором при построении структурированной кабельной системы зданий. Далее приводятся основные типы и характеристики этих кабелей.

– «Толстый» коаксиальный кабель разработан для сетей Ethernet 10Base-5 с волновым сопротивлением 50 Ом и внешним диаметром около 12 мм. Этот кабель имеет достаточно толстый внутренний проводник диаметром 2,17 мм, который обеспечивает хорошие механические и электрические характеристики (затухание на частоте 10 МГц – не хуже 18 дБ/км). Зато этот кабель сложно монтировать – он плохо гнется.

– «Тонкий» коаксиальный кабель предназначен для сетей Ethernet 10Base-2. Обладая внешним диаметром около 5 мм и тонким внутренним проводником 0,89 мм, этот кабель не так прочен, как «толстый» коаксиал, зато обладает гораздо большей гибкостью, что удобно при монтаже. «Тонкий» коаксиальный кабель также имеет волновое сопротивление 50 Ом, но его механические и электрические характеристики хуже, чем у «толстого» коаксиального кабеля. Затухание в этом типе кабеля выше, чем в «толстом» коаксиальном кабеле,

что приводит к необходимости уменьшать длину кабеля для получения одинакового затухания в сегменте.

– Телевизионный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом широко применяется в кабельном телевидении. Существуют стандарты локальных сетей, позволяющие использовать такой кабель для передачи данных.

**Волоконно-оптический** кабель состоит из тонких (5–60 микрон) гибких стеклянных волокон (волоконных световодов), по которым распространяются световые сигналы. Это наиболее качественный тип кабеля – он обеспечивает передачу данных с очень высокой скоростью (до 10 Гбит/с и выше) и к тому же лучше других типов передающей среды обеспечивает защиту данных от внешних помех (в силу особенностей распространения света такие сигналы легко экранировать).

Каждый световод состоит из центрального проводника света (сердцевины) – стеклянного волокна, и стеклянной оболочки, обладающей меньшим показателем преломления, чем сердцевина. Распространяясь по сердцевине, лучи света не выходят за ее пределы, отражаясь от покрывающего слоя оболочки. В зависимости от распределения показателя преломления и величины диаметра сердечника различают:

– многомодовое волокно со ступенчатым изменением показателя преломления (рис. 3.2, *а*);

– многомодовое волокно с плавным изменением показателя преломления (рис. 3.2, *б*);

– одномодовое волокно (рис. 3.2, *в*).

Понятие «мода» описывает режим распространения световых лучей в сердцевине кабеля. В одномодовом кабеле (Single Mode Fiber, SMF) используется центральный проводник очень малого диаметра, соизмеримого с длиной волны света – от 5 до 10 мкм. При этом практически все лучи света распространяются вдоль оптической оси световода, не отражаясь от внешнего проводника. Изготовление сверхтонких качественных волокон для одномодового кабеля представляет собой сложный технологический процесс, что делает одномодовый кабель достаточно дорогим. Кроме того, в волокно такого маленького диаметра достаточно сложно направить пучок света, не потеряв при этом значительную часть его энергии.

В многомодовых кабелях во внутреннем проводнике одновременно существует несколько световых лучей, отражающихся от

внешнего проводника под разными углами. Угол отражения луча называется модой луча. В многомодовых кабелях с плавным изменением коэффициента преломления режим отражения лучей имеет сложный характер. Возникающая при этом интерференция ухудшает качество передаваемого сигнала, что приводит к искажениям передаваемых импульсов в многомодовом оптическом волокне. По этой причине технические характеристики многомодовых кабелей хуже, чем одномодовых.

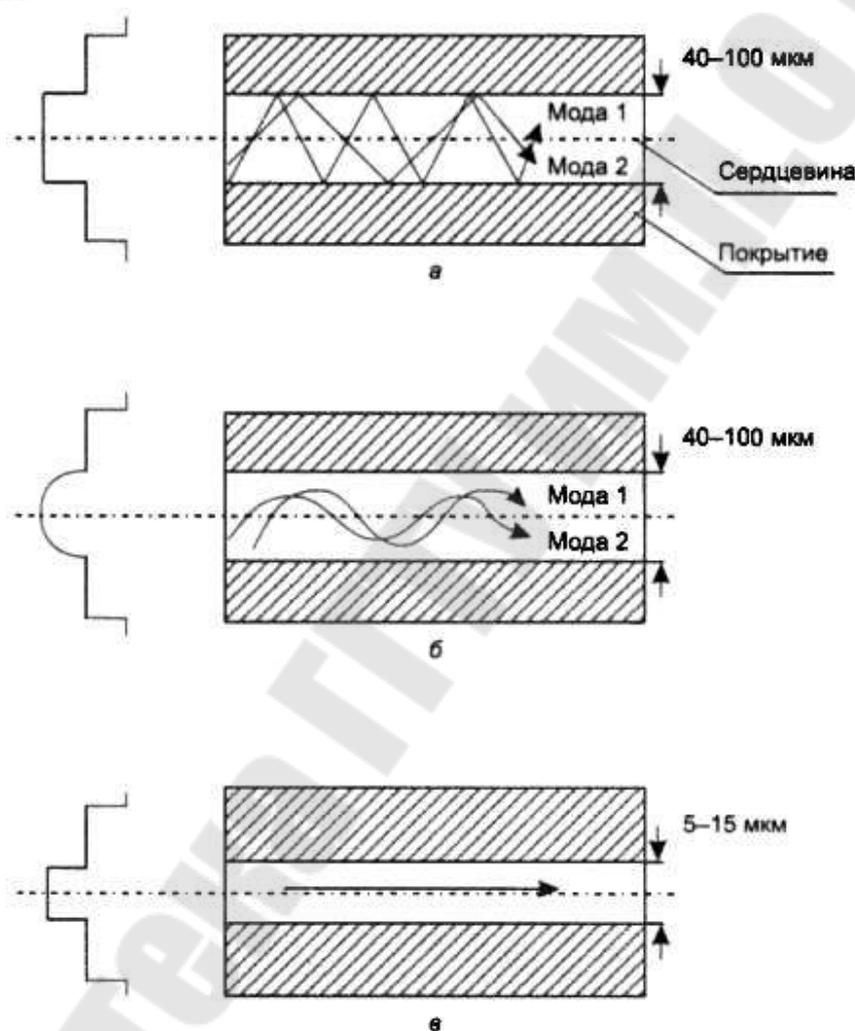


Рисунок 3.2 – Типы оптического кабеля

Учитывая это, многомодовые кабели применяют в основном для передачи данных на скоростях не более 1 Гбит/с на небольшие расстояния (до 300–2000 м), а одномодовые – для передач и данных со сверхвысокими скоростями в несколько десятков гигабитов в секунду (а при использовании технологии DWDM – до нескольких терабитов в секунду) на расстояния до нескольких десятков и даже сотен километров (дальняя связь).

В качестве источников света в волоконно-оптических кабелях применяются:

- светодиоды, или светоизлучающие диоды (Light Emitted Diode, LED);
- полупроводниковые лазеры, или лазерные диоды.

Для одномодовых кабелей применяются только лазерные диоды, так как при таком малом диаметре оптического волокна световой поток, создаваемый светодиодом, невозможно без больших потерь направить в волокно – он имеет чересчур широкую диаграмму направленности излучения, в то время как лазерный диод – узкую. Более дешевые светодиодные излучатели используются только для многомодовых кабелей.

Стоимость волоконно-оптических кабелей ненамного превышает стоимость кабелей на витой паре, но проведение монтажных работ с оптоволокном обходится намного дороже из-за трудоемкости операций и высокой стоимости применяемого монтажного оборудования.

### ***1.2. Расчет сети Ethernet***

Задача анализа сети Ethernet возникает при большой протяженности сети (диаметр  $> 2,5$  км) и числе последовательно установленных повторителей больше двух [9].

Рассматривают две модели проектирования: *Модель 1* и *Модель 2*.

Если сеть удовлетворяет *Модели 1*, то сеть спроектирована верно. Если сеть не удовлетворяет *Модели 1*, то следует применить *Модель 2*, и если сеть будет удовлетворять *Модели 2*, то считают, что сеть спроектирована верно.

В *Модели 1* выделяют три условия, которым должна удовлетворять проектируемая сеть. Согласно *первому условию* (рис. 3.4) путь между двумя узлами может содержать:

- до пяти сегментов;
- до четырех повторителей;
- два трансивера;
- два трансиверных кабеля.

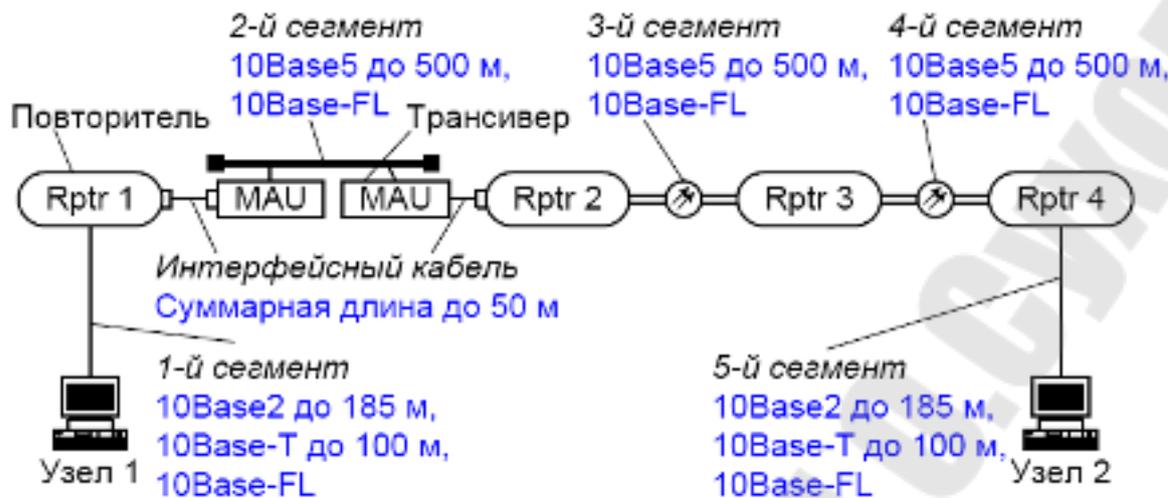


Рисунок 3.3 – Графическая интерпретация первого условия по Модели 1

*Второе условие:* если путь содержит пять сегментов и четыре повторителя, то в нем может быть до трех коаксиальных сегментов. Тогда длина волоконно-оптических сегментов может достигать 500 м.

*Третье условие:* если путь между двумя узлами состоит из трех повторителей и четырех сегментов, то длина волоконно-оптического участка между повторителями не должна превышать 1000 м (см. рис. 3.4, а), а между повторителем и узлом – 400 м (см. рис. 3.4, б). При этом число коаксиальных сегментов может достигать четырех.



Рисунок 3.4 – Максимальная длина волоконно-оптического участка по третьему условию

Повторитель (*RPTR*) необходим для объединения сегментов сети, восстановления формы сигналов, временных характеристик и регенерации преамбулы.

Трансивер (*MAU*) служит для подключения толстого коаксиального кабеля или волоконно-оптического кабеля.

При использовании *Модели 2* проверяются:

1. Задержка распространения сигнала на двойном пробеге *RTD*, которая не должна превышать максимально допустимой величины

$RTD_{max} = 575$  ВТ при запасе надежности  $SF = 5$  ВТ. Расчет  $RTD$  выполняются отдельно от узла  $i$  к узлу  $j$  и от узла  $j$  к узлу  $i$  по формуле

$$RTD = base + RTDM \cdot L, \quad (1.1)$$

где  $base$  – задержка в сетевом элементе (узле, повторителе);  $RTDM$  – задержка на двойном пробеге в кабельном сегменте в 1 м;  $L$  – длина сегмента (следует отметить, что длина трансиверного кабеля уменьшается на 2 м от действительного значения).

2. Уменьшение межкадрового интервала  $SVV$ , которое должно быть не более 49 ВТ. Уменьшение межкадрового интервала происходит в повторителях в процессе регенерации преамбулы, ретрансляции кадров. Уменьшение задержки учитывается на начальном и среднем сегментах сети.

Таблица 3.1

**Максимально допустимые задержки на устройствах Ethernet и кабельных сегментах**

Тип сегмента	Макс длина, м	$base$ , ВТ			$RTDM$ , ВТ/м
		Начальный сегмент	Средний сегмент	Конечный сегмент	
10Base5	500	11,75	46,5	169,5	0,0866
10Base2	185	11,75	46,5	169,5	0,1026
10Base-T	100	15,25	42	165	0,113
10Base-FL	2000	12,25	33,5	156,5	0,1
Трансиверный кабель	48 (+2)	–	–	–	0,102

Методику расчета рассмотрим на примере сети, приведенной на рис. 3.5. Для участка между первым и вторым узлами имеем:

- число повторителей – четыре;
- число сегментов – пять;
- число трансиверов – два;
- длина трансиверного кабеля – 50 м;
- смешанных сегментов – три;

Следовательно, данный участок удовлетворяет *Модели 1*.

Для участка между первым и третьим узлами число трансиверов больше двух, следовательно, этот участок не удовлетворяет *Модели 1*.

Поэтому необходимо воспользоваться *Моделью 2* для принятия решения о правильности проектирования сети.

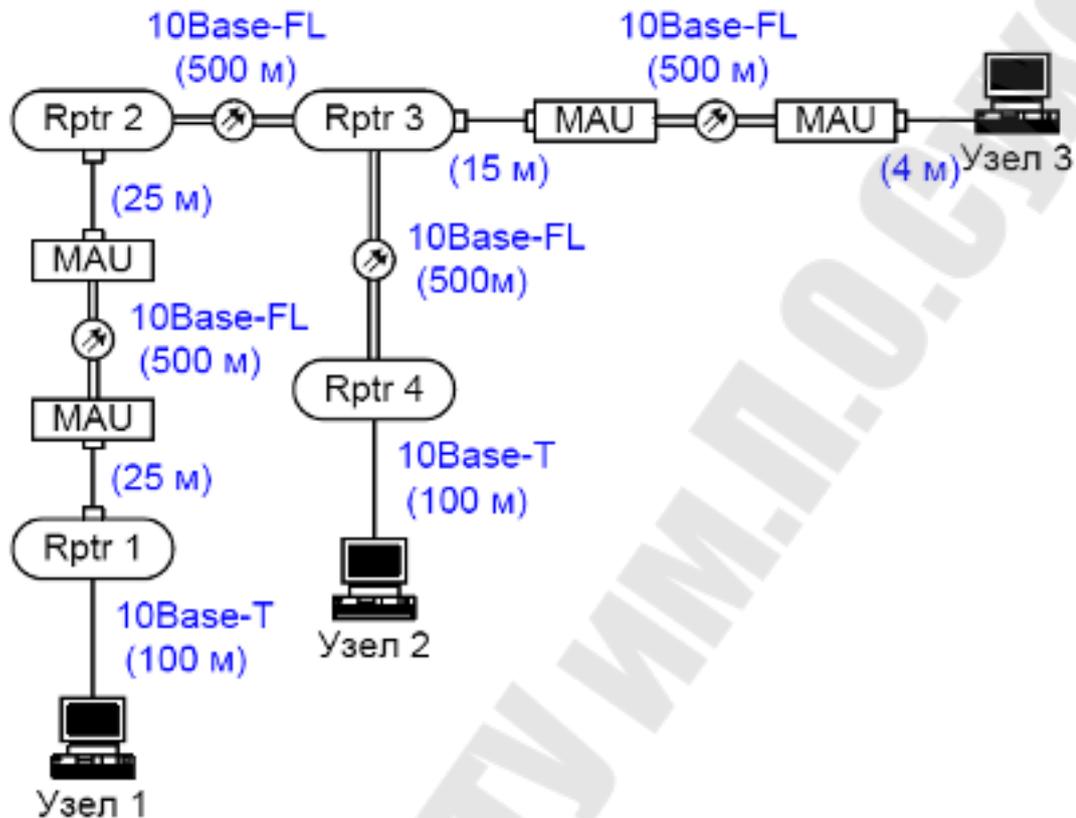


Рисунок 3.5 – Проектируемая сеть Ethernet

Выполним расчет задержки на двойном пробеге  $RTD$  между первым и вторым узлами. Результирующая формула будет содержать пять слагаемых (по числу сегментов), вычисляемых по формуле (1.1).

Для первого сегмента  $base = 15,25$  нс (поскольку он начальный, а тип сегмента 10Base-T),  $RTDM = 0,113$  нс/м и  $L = 100$ .

Используя формулу (1.1), следует выполнить аналогичный расчет для остальных четырех сегментов. Результаты вычислений всех возможных значений  $RTD$  приведены ниже:

$$RTD(1,2) = (15,25 + 0,113 \cdot 100) + ((50-2) \cdot 0,1026 + 33,5 + 0,1 \cdot 500) + (33,5 + 0,1 \cdot 500) + (33,5 + 0,1 \cdot 500) + (165 + 0,113 \cdot 100) = 458 \text{ нс}$$

$$RTD(2,1) = (15,25 + 0,113 \cdot 100) + (33,5 + 0,1 \cdot 500) + (33,5 + 0,1 \cdot 500) + ((50-2) \cdot 0,1026 + 33,5 + 0,1 \cdot 500) + (165 + 0,113 \cdot 100) = 458 \text{ нс}$$

$$RTD(1,3) = (15,25 + 0,113 \cdot 100) + ((50-2) \cdot 0,1026 + 33,5 + 0,1 \cdot 500) + (33,5 + 0,1 \cdot 500) + ((19-2) \cdot 0,1026 + 156,5 + 0,1 \cdot 500) = 407 \text{ нс}$$

$$RTD(3,1)=((19-2)\cdot 0.1026+12.25+0.1\cdot 500)+(33.5+0.1\cdot 500)+$$

$$+((50-2)\cdot 0.1026+33.5+0.1\cdot 500)+(165+0.113\cdot 100)=412 \text{ ВТ}$$

$$RTD(2,3)=(15.25+0.113\cdot 100)+(33.5+0.1\cdot 500)+$$

$$+((19-2)\cdot 0.1026+156.5+0.1\cdot 500)=318 \text{ ВТ}$$

$$RTD(3,2)=((19-2)\cdot 0.1026+12.25+0.1\cdot 500)+(33.5+0.1\cdot 500)+$$

$$+(165+0.113\cdot 100)=324 \text{ ВТ}$$

Видно, что  $RTD$  не превышает 575 ВТ. Для окончательного принятия решения о правильности проектирования сети рассчитаем величину уменьшения межкадрового интервала  $SVV$  с учетом табл. 3.2.

Таблица 3.2

**Вносимое уменьшение межкадрового интервала**

Тип сегмента	Начальный сегмент, ВТ	Средний сегмент, ВТ
10Base2, 10Base5	16	11
10Base-FL, 10Base-T	10,5	8

Расчет  $SVV$  выполняется путем суммирования значений вносимого уменьшения межкадрового интервала от начального и средних сегментов. При этом учитываются тип сегмента и его местоположение. Для участка сети между первым и вторым узлами имеется начальный сегмент 10Base-T, который вносит уменьшение межкадрового интервала в 10,5 ВТ и три сегмента 10Base-FL, дающие вклад по 8 ВТ. Поэтому результирующее значение

$SVV(1,2)=10,5+8+8+8=34,5$  ВТ. Аналогично выполним расчет для остальных сегментов.

$$SVV(2,1)=10,5+8+8+8=34,5 \text{ ВТ},$$

$$SVV(1,3)=10,5+8+8=26,5 \text{ ВТ}, SVV(3,1)=10,5+8+8=26,5 \text{ ВТ},$$

$$SVV(2,3)=10,5+8=18,5 \text{ ВТ}, SVV(3,2)=10,5+8=18,5 \text{ ВТ}.$$

Анализ показывает, что  $SVV$  не превышает 49 ВТ. Следовательно, рассматриваемая сеть спроектирована верно.

## 1.2. Расчет сети Fast Ethernet

Для сети Fast Ethernet также приняты две модели, которым должна соответствовать проектируемая сеть [9], [10].

Модель 1 определяет четыре типовых схемы (рис. 3.6), на которых указываются типы сегментов и их предельные длины:

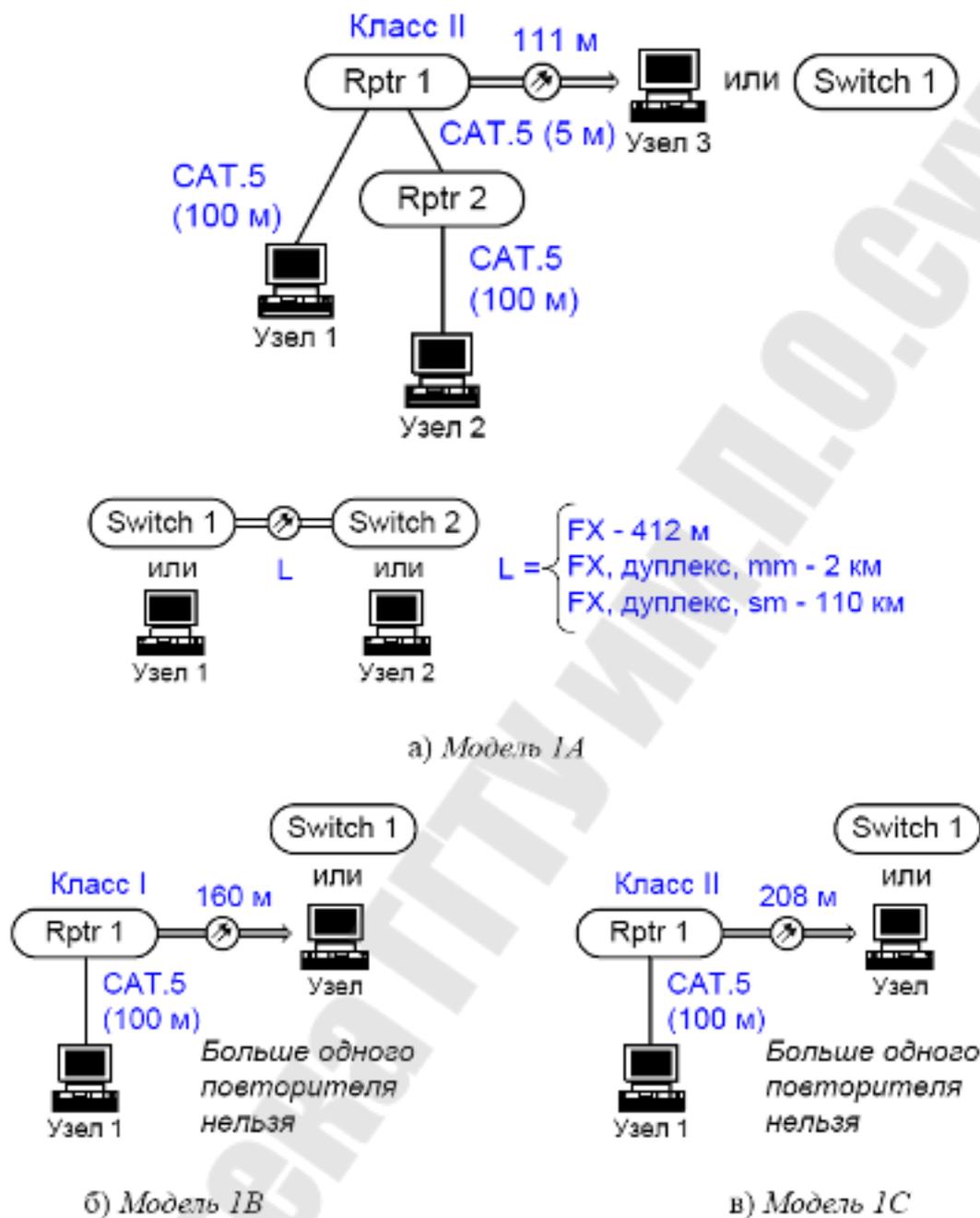


Рисунок 3.6 – Графическая интерпретация первого условия по Модели 1 для сети Fast Ethernet

Следует отметить, что все приведенные длины сегментов предельны. При установке на удаленном конце коммутатора с подключенными к нему рабочими станциями суммарная длина кабелей должна соответствовать приведенной в Модели 1.

Использование *Модели 2* заключается в вычислении задержки распространения сигнала на двойном пробеге  $RTD$ , последнее не должно превышать 512 ВТ.

Уменьшение межкадрового интервала  $SSV$  не рассчитывается, поскольку в сети имеется небольшое число повторителей.

Таблица 3.3

**Максимально допустимые задержки на устройствах Fast Ethernet и кабельных сегментах**

Устройство/ кабельный сегмент	Максимальная задержка на двойном пробеге, $RTD_{max}$ - ВТ
Узел/ коммутатор	100 (суммарно для двух оконечных устройств)
Повторитель класса I	140
Повторитель класса II	92
Витая пара CAT.5 для 1 м	1,112
Оптоволокно для 1 м	1,0

Проверим с помощью *Модели 2* справедливость *Модели 1*.

Так в *Модели 1A* (рис. 3.7, а) имеется два узла с суммарной задержкой в 100 ВТ и оптоволоконный сегмент длиной 412 м с удель-

ной задержкой в 1 ВТ. Кроме того,  $RTD(1,2)=RTD(2,1)=100 + 412 \cdot 1 =$

512 ВТ . Аналогично для остальных моделей:

$$\text{Модель 1B: } RTD=100+100 \cdot 1,112+140+160 \cdot 1=511,2 \text{ ВТ.}$$

$$\text{Модель 1C: } RTD=100+100 \cdot 1,112+92+208 \cdot 1=511,2 \text{ ВТ.}$$

$$\text{Модель 1D: } RTD(1,2)=100+(100+100+5) \cdot 1,112+2 \cdot 92=511,96 \text{ ВТ,}$$

$$RTD(1,3)=100+100 \cdot 1,112+92+111 \cdot 1=414,2 \text{ ВТ,}$$

$$RTD(2,3)=100+(100+5) \cdot 1,112+2 \cdot 92+111 \cdot 1=511,76 \text{ ВТ .}$$

Из приведенных расчетов видно, что значение  $RTD$  не превышает 512 ВТ.

Рассмотрим пример вычисления максимальной длины волоконно-оптического кабеля для сети по рис. 1.5.

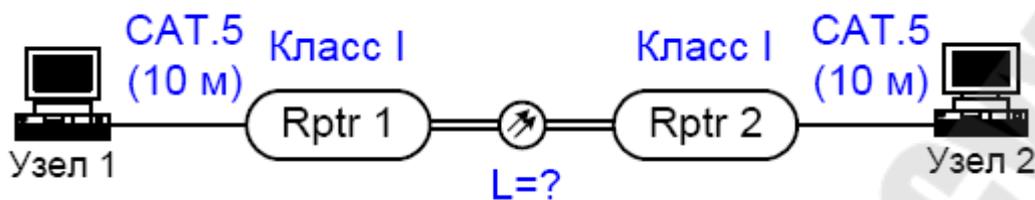


Рисунок 3.8 – Сеть Fast Ethernet

Составим по формуле (1.1) выражение для вычисления максимальной задержки распространения сигнала на двойном пробеге с учетом всех элементов сети, приведенной на рис. 3.8. Имеем:

$$RTD_{\max} = 100 + (10 + 10) \cdot 1,112 + 2 \cdot 140 + L \cdot 1 = 512 \text{ нс}$$

Из данного уравнения находим максимальную длину волоконно-оптического участка  $L$ , которая будет равна 109,8 м.

### Задание к лабораторной работе

Самостоятельно составить сеть Ethernet по варианту предложенному преподавателем, в которой должно быть не меньше пяти сегментов. Выполнить анализ сети по *Модели 1* и *Модели 2*.

### Требование к отчету

В отчете должны быть отображены следующие пункты:

1. Задание.
2. Теория (при необходимости).
3. Исходные данные.
4. Ход решения поставленной задачи с комментариями.
5. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Дайте понятие коллизии домена.
2. Объясните принцип протокола CSMA/CD.
3. Объясните назначение концентратора.
4. Объясните назначение коммутатора.
5. Приведите и поясните формат кадра Ethernet.

6. Особенности модели1.
7. Особенности модели2.
8. Классификация и особенности применения витой пары.
9. Классификация и особенности применения коаксиальной линии связи.
10. Разновидности ВОСП.
11. Для чего при проектировании сети следует учитывать задержки.

## Литература

1. Бесслер, Р. Проектирование сетей связи : справочник : пер. с нем./ Р. Бесслер, А. Дойч. – М. : Радио и связь, 1988. – 267 с.
2. Слепов, Н. Н. Синхронные цифровые сети SDH / Н. Н. Слепов. – М. : Эко-трендз, 1999. – 150с.
3. Системы передачи синхронной цифровой иерархии : учеб. пособие по дисциплине «Многоканальные системы передачи». – Минск, 2001.
4. Бакланов, И. Г. Технологии измерений первичной сети. Системы E1, PDH, SDH / И. Г. Бакланов. – М. : ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000. – Ч. 1
5. Крук, Б. И. Телекоммуникационные системы и сети : учеб. пособие / Б. И. Крук, В. Н. Попантопуло, В. П. Шувалов ; под. ред В. П. Шувалова. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – Т. 1.
6. Попов, Г. Н. Расчет некоторых качественных показателей транспортной сети SDH : метод. указания / Г. Н. Попов, О. П. Кулеша. – Новосибирск, СибГУТИ, 2001.
7. Фокин, В. Г. Оптические системы передачи : учеб. пособие / В. Г. Фокин. – Новосибирск, СибГУТИ, 2002. – Ч. 1
8. Слепов, Н. Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET и WDM) / Н. Н. Слепов. – М. : Радио и связь, 2000.
9. Убайдуллаев Р. Р. Волоконно-оптические сети / Р. Р. Убайдуллаев. – М. : Эко-трендз, 1998.
10. Гольдштейн, Б. С. Протоколы сети доступа связи. Т. 2 / Б. С. Гольдштейн. – М. : Радио и связь, 2001.
11. Семенов, Ю.В. Проектирование сетей следующего поколения / Ю. В. Семенов. – Спб.: Наука и Техника, 2005.

**Ковалев Алексей Викторович**  
**Литвинов Дмитрий Александрович**

**КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ  
СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

**Лабораторный практикум  
по курсу «Системы телекоммуникаций»  
для студентов специальности 1-36 04 02  
«Промышленная электроника»  
дневной формы обучения**

**В четырех частях  
Часть 2**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 03.05.13.

Пер. № 70Е.  
<http://www.gstu.by>