

## Курсовая работа «Современные телекоммуникационные системы и сети»

Внимание! Вариант определяется по 2-м последним цифрам пароля

### Задание 1

Между двумя цифровыми ГТС М потоков E1, в которых занято N соединительных линий. Определите количество (M) потоков E1, которое требуется для передачи данных между ГТС, приведите рисунок и подробное описание цикла последнего E1. Приведите технические параметры оптического мультиплексора, осуществляющего передачу потоков E1 между ГТС.

Таблица 1.1 – Исходные данные, определяемые по последней цифре пароля

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Количество соединительных линий N	486	305	547	373	252	406	508	211	275	369

Таблица 1.2 – Исходные данные, определяемые по предпоследней цифре пароля

Номер варианта	Оптический мультиплексор	Номер варианта	Оптический мультиплексор
1	ToPGATE-24E1-2FG	6	«БЕЛУХА»
2	ГМ-1Gx	7	«СуперГвоздь-1GE»
3	Транспорт 32x30	8	FoMUX-16GE
4	"Супергвоздь"	9	FoMUX-8LE
5	"Акула"	0	FlexGain FG-FOM16E

### Методические указания по решению Задания 1

Соединительные линии ГТС передаются основными цифровыми каналами (ОЦК).

ОЦК - это цифровой вид канала тональной частоты.

Передача канала тональной частоты предусматривает передачу речи в диапазоне частот 0.3 - 3.4 кГц. Согласно теореме Котельникова, выбор частоты дискретизации сигнала должен соответствовать следующему критерию:

*любой сигнал, имеющий непрерывный спектр, ограниченный частотой  $F_v$ , может быть представлен в виде отсчетов на передаче и затем восстановлен на приеме со сколь угодно малой погрешностью, если частота отсчетов (частота дискретизации  $F_d$ ) больше либо равна  $2 F_v$ :  $F_d \geq 2 F_v$*

Таким образом, для дискретизации канала тональной частоты, частота дискретизации должна быть более или равна 6.8 кГц. В реальных системах передачи она равна 8 кГц.

Период дискретизации (период выборки дискретных отсчетов непрерывного сигнала для его «оцифровки» (кодирования), период цикла передачи данных) рассчитывается из соотношения:

$$T_d = \frac{1}{F_d} = \frac{1}{8 \cdot 10^3 \text{ Гц}} = 125 \text{ мкс}$$

Переведенные в двоичный код каналы тональной частоты (ОЦК) организуются в циклы потоков E1. Данный поток предназначен для организации соединительных линий между различными ГТС путем организации 30 каналов ОЦК, а также в качестве каналаобразующего оборудования для цифровых систем передачи высшего порядка.

Цикл передачи потока E1 представлен на рисунке 1.1.

Цикл передачи состоит из последовательно следующих друг за другом сверхциклов, каждый из которых содержит 16 циклов (Ц<sub>0</sub> – Ц<sub>15</sub>). Циклы разделяются на 32 канальных интервала (КИ<sub>0</sub> – КИ<sub>31</sub>), каждый из которых включает 8 разрядов (один ОЦК). Длительность цикла равна 125 мкс, что

соответствует частоте дискретизации 8 кГц. Длительность сверхцикла равна 2 мс, длительность канального интервала – 3,9 мкс, а длительность разряда – 0,488 мкс.

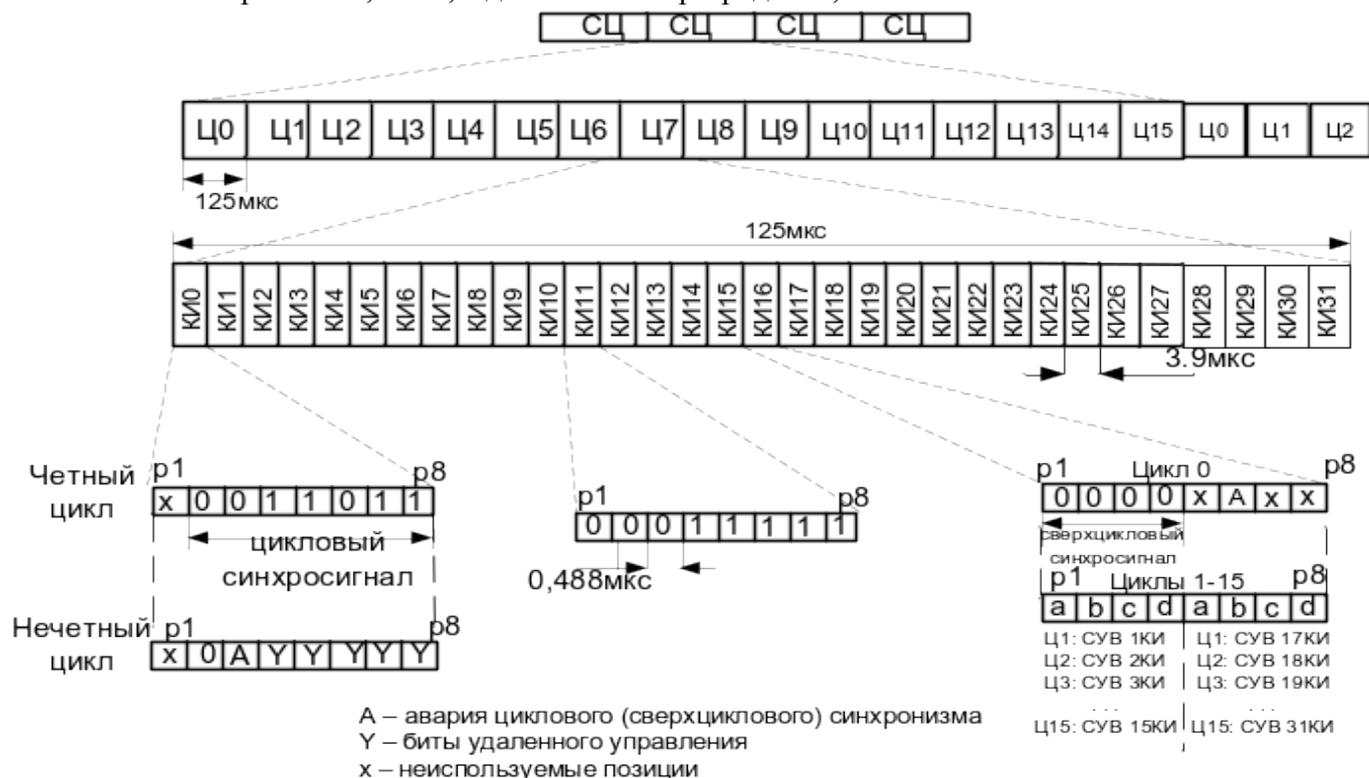


Рисунок 1.1 – Цикл передачи потока E1

Отсчет циклов в сверхцикле начинается с Ц<sub>0</sub>, в котором передается сверхцикловой синхросигнал (СЦС) в виде комбинации 0000 в разрядах Р1...Р4 КИ<sub>16</sub>, остальные разряды равны соответственно х, А, х, х: разряд Р6 (позиция А) используется для передачи сигнала о нарушении сверхцикловой синхронизации на противоположную станцию.

Передача сигналов СУВ (сигналы взаимодействия и управления) для каждого телефонного канала (ОЦК) осуществляется один раз в сверхцикле. При этом в каждом цикле, начиная с Ц<sub>1</sub> и заканчивая Ц<sub>15</sub>, в КИ<sub>16</sub> передаются СУВ для двух каналов. Например СУВ первого телефонного канала (КИ<sub>1</sub>) располагается в КИ<sub>16</sub> первого цикла на позициях Р1 – Р4, в этом же цикле в КИ<sub>16</sub>, только на позициях Р4 – Р8, располагается СУВ для шестнадцатого телефонного канала (КИ<sub>17</sub>).

Отсчет канальных интервалов в цикле начинается с КИ<sub>0</sub>, содержащего цикловой синхросигнал вида 0011011, передаваемый в Р2...Р5 четных циклов сверхцикла. Символ разряда Р3 (позиция А) в КИ<sub>0</sub> нечетных циклов используется для передачи сигнала о нарушении циклового синхронизма на противоположную станцию.

Все остальные 30 канальных интервалов (кроме КИ<sub>0</sub> и КИ<sub>16</sub>) используются для организации цифровых каналов. В них на позициях Р1...Р8 записывается кодовая комбинация амплитуды дискретного отсчета, соответствующего канала, получаемая на выходе кодирующего устройства.

### Пример выполнения задания 1

Между двумя цифровыми ГТС М потоков E1, в которых занято 234 соединительных линии. Определите количество (М) потоков E1, которое требуется для передачи данных между ГТС, приведите рисунок и подробное описание цикла последнего E1. Приведите технические параметры оптического мультиплексора ПолиКом®-300U-1GT, осуществляющего передачу потоков E1 между ГТС.

Решение:

Соединительные линии ГТС организуются основными цифровыми каналами. Основные цифровые каналы (ОЦК) организуются в циклы потоков E1. Цикл потока E1 организуется из 30 ОЦК.



Определим сколько потоков E1 требуется для передачи 234 соединительных линий:

$$N_{E1} = \frac{N_{кмч}}{30} = \frac{234}{30} = 7,8 = 8 \text{ потоков E1}$$

Таким образом для передачи 234 ОЦК потребуется 7 потоков E1 с заполненными 30 информационными канальными интервалами и 1 поток (последний) с частично-свободными канальными интервалами.

Определим количество занятых канальных интервалов в последнем потоке E1:

$$7 \text{ потоков E1 передает } 7 \cdot 30 = 210 \text{ ОЦК}$$

Для передачи в восьмом E1 остается  $234 - 210 = 24$  ОЦК, значит 24 канальных интервала занято в последнем потоке E1.

На рисунке 1.2 показана структура потока E1, в котором занято 24 канальных интервала информацией соединительных линий ГТС, а 6 канальных интервалов балластом.

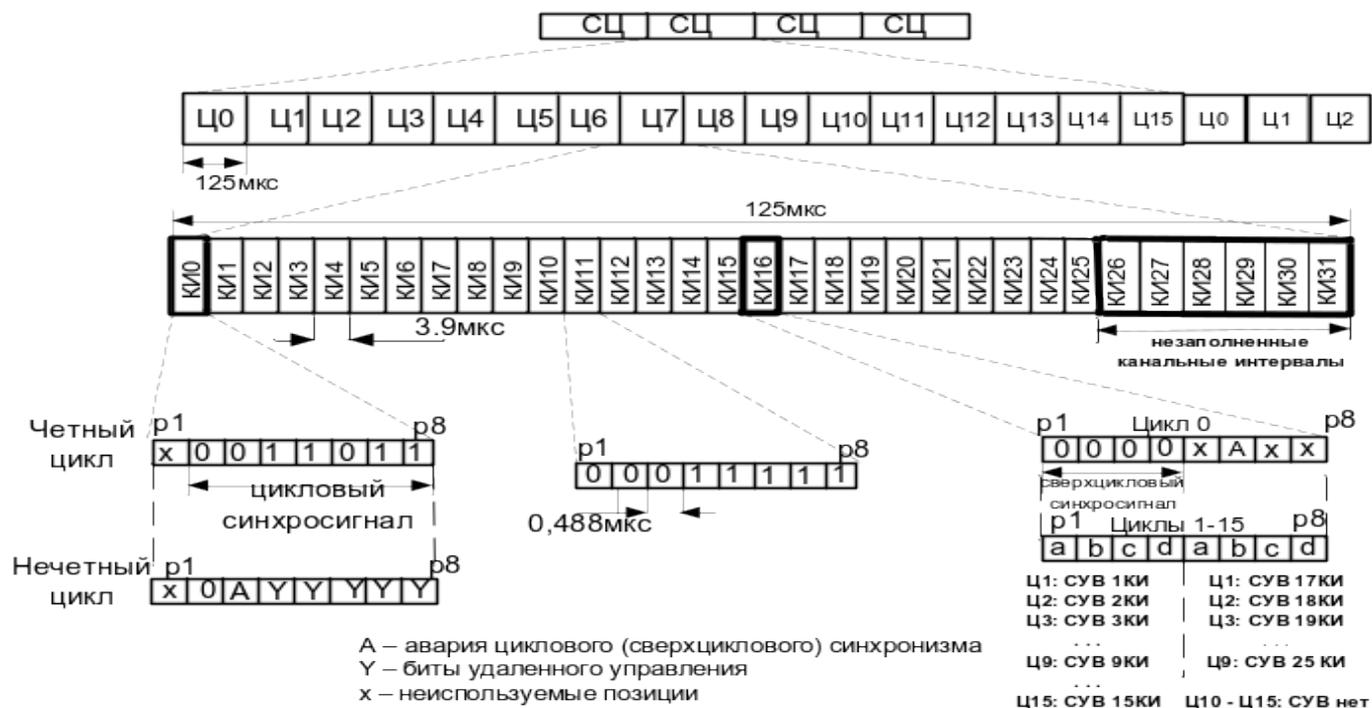


Рисунок 1.2 – Цикл потока E1 для передачи 24 ОЦК

Описание цикла потока E1 выполняется аналогично описанию рисунка 1.1, особо уделяя внимание незаполненным канальным интервалам и позициям.

Приведем технические характеристики оптического мультиплексора ПолиКом®-300U-1GT по следующим позициям:

1. Количество передаваемых потоков E1: от 1 до 16 E1
2. Тип среды передачи: оптическое волокно
3. Скорость передачи: 1,3 Гбит/с
4. Размеры: 44 x 442 x 177 мм
5. Электропитание: 48 В постоянного тока, 220 В переменного тока
6. Протоколы управления: Telnet, SNMP, SSH

## Задание 2

Определить среднее значение величины битовой скорости в локальной сети передачи данных Ethernet с виртуальными каналами услуг. Опираясь на рассчитанную величину битовой скорости выбрать модель коммутаторов, привести их технические характеристики. Сеть передачи данных предприятия состоит из трех узлов, соединенных в топологию «кольцо». Исходные данные приведены в таблицах 2.1, 2.2.

Таблица 2.1 – Исходные данные, определяемые по последней цифре пароля

Последняя цифра студенческого билета	Количество абонентов узла 1	Количество абонентов узла 2	Количество абонентов узла 3
1	73	182	147
2	155	211	56
3	48	149	513
4	210	349	301
5	153	161	25
6	257	116	79
7	351	44	103
8	189	247	172
9	288	165	87
0	56	178	203

Таблица 2.2 – Исходные данные, определяемые по предпоследней цифре пароля

Предпоследняя цифра студенческого билета	Услуга 1	Услуга 2	Фирма-производитель коммутаторов
1	Передача файлов (ШПД)	Поиск видео	D-link
2	Передача файлов (ШПД)	Поиск документов	Cisco
3	Передача файлов (ШПД)	Данные по требованию	Zyxel
4	Передача файлов (ШПД)	Поиск видео	Eltex
5	Передача файлов (ШПД)	Поиск документов	<a href="#">3COM</a>
6	Передача файлов (ШПД)	Данные по требованию	<a href="#">HP</a>
7	Передача файлов (ШПД)	Поиск видео	<a href="#">MikroTik</a>
8	Передача файлов (ШПД)	Поиск документов	<a href="#">NETGEAR</a>
9	Передача файлов (ШПД)	Данные по требованию	<a href="#">TP-LINK</a>
0	Передача файлов (ШПД)	Поиск видео	<a href="#">Allied Telesis</a>

### Методические указания к заданию 2:

Для выполнения расчетов пропускной способности цифровых трактов и оптических каналов, и производительности коммутаторов пакетов учитывается:

- поток заявок, поступающих по k-той услуге для доступа к коммутатору, является пуассоновским с функцией распределения вероятностей промежутка времени между поступлениями:

$$A^{(k)}(t) = 1 - \exp[-\lambda^{(k)}_{термин} \cdot t], \quad (2.1)$$

- скорости передачи терминалов k-ой услуги с переменной скоростью - случайные дискретные величины, принимающие значения  $B^{(k)}_{макс}$  с вероятностью:

$$p^{(k)} = \frac{1}{K^{(k)}_{нач}}, \quad (2.2)$$

Среднее значение битовой скорости k-ой услуги при образовании  $N^{(k)}_{вк}$  числа виртуальных каналов определяется:

$$B^{(k)}_{cp} = N^{(k)}_{вк} \cdot p^{(k)} \cdot B^{(k)}_{макс}, \quad (2.3)$$

Среднее значение величины битовой скорости передачи в сети передачи данных определяется по теореме сложения математических ожиданий:

$$B_{cp} = \sum_{k=1}^k B_{cp}^{(k)}, \quad (2.4)$$

Для определения требуемую скорость передачи данных участка сети Ethernet с виртуальными каналами услуг используемых на сети, используют характеристики услуг, приведенные в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Параметры трафика МСС

Услуга	Класс пользователей	V <sub>макс</sub> Кбит/с	Пачечность K <sub>пач</sub>	Длительность пика или сеанса связи		Входящая нагрузка в ЧНН, Эрл	Число вызовов в ЧНН
				T <sub>пик,с</sub>	T <sub>сеан,с</sub>		
Передача файлов (ШПД)	КС	2000	54	1	1	0,2	10,8
	ДС	2000	18	1	1	2,7	10,8
Поиск видео	КС	10000	54	10	540	0,03	0,2
	ДС	10000	54	10	180	0,1	2,0
Поиск документов	КС	64	200	0,25	300	0,05	0,6
	ДС	64	200	0,25	300	0,25	3,0
Данные по требованию	КС	64	200	0,04	30	0,20	24,0
	ДС	64	200	0,04	30	0,20	72,0

ДС – деловой сектор; КС – квартирный сектор

### Пример выполнения задания 2:

Исходные данные:

Количество абонентов узла 1: 110 абонентов

Количество абонентов узла 2: 73 абонента

Количество абонентов узла 3: 200 абонентов

Предоставляемые услуги: передача файлов (ШПД) и данные по требованию

Фирма-производитель коммутаторов: QTECH

Решение:

Определим вероятность поступления заданных видов услуг по формуле 2.2. Так как сеть предприятия относится к деловому сектору, то значение пачечности для передачи файлов ШПД K<sub>пач1</sub> = 18, значение пачечности для данных по требованию K<sub>пач2</sub> = 200 (таблица 2.2).

$$p^1 = \frac{1}{K_{пач1}} = \frac{1}{18} = 0.056 \quad , \quad p^2 = \frac{1}{K_{пач2}} = \frac{1}{200} = 0.005$$

Определим среднее значение битовой скорости k-ой услуги при образовании N<sup>(k)</sup><sub>вк</sub> числа виртуальных каналов по формуле 2.3.

Для **первого узла** передачи данных:

$$B_{cp1} = N_{вк1} \cdot p^1 \cdot V_{макс1} = 110 \cdot 0.056 \cdot 2000 \cdot 10^3 = 12320 \cdot 10^3 \text{ бит/с} = 12,320 \cdot 10^6 \text{ бит/с} = 12,32 \text{ Мбит/с};$$

$$B_{cp2} = N_{вк2} \cdot p^2 \cdot V_{макс2} = 110 \cdot 0.005 \cdot 64 \cdot 10^3 = 35,2 \cdot 10^3 \text{ бит/с} = 0,0352 \cdot 10^6 \text{ бит/с} = 0,0352 \text{ Мбит/с};$$

Для **второго узла** передачи данных:

$$B_{cp1} = N_{вк1} \cdot p^1 \cdot B_{макс1} = 73 \cdot 0.056 \cdot 2000 \cdot 10^3 = 8176 \cdot 10^3 \text{ бум/c} = 8,176 \cdot 10^6 \text{ бум/c} = 8,176 \text{ Мбит/c};$$

$$B_{cp2} = N_{вк2} \cdot p^2 \cdot B_{макс2} = 73 \cdot 0.005 \cdot 64 \cdot 10^3 = 23,36 \cdot 10^3 \text{ бум/c} = 0,02336 \cdot 10^6 \text{ бум/c} = 0,02336 \text{ Мбит/c};$$

Для третьего узла передачи данных:

$$B_{cp1} = N_{вк1} \cdot p^1 \cdot B_{макс1} = 200 \cdot 0.056 \cdot 2000 \cdot 10^3 = 22400 \cdot 10^3 \text{ бум/c} = 22,4 \cdot 10^6 \text{ бум/c} = 22,4 \text{ Мбит/c};$$

$$B_{cp2} = N_{вк2} \cdot p^2 \cdot B_{макс2} = 200 \cdot 0.005 \cdot 64 \cdot 10^3 = 64 \cdot 10^3 \text{ бум/c} = 0,064 \cdot 10^6 \text{ бум/c} = 0,064 \text{ Мбит/c};$$

Суммарное значение величины битовой скорости в сети передачи данных определяется по формуле 2.4. Расчет произведем в Мбит/с:

$$B_{cp} = \sum_{k=1}^2 B_{cpk} = 12,32 + 0,0352 + 8,176 + 0,02336 + 22,4 + 0,064 = 43,02 \text{ Мбит/с};$$

Исходя из рассчитанной скорости передачи данных 43,02 Мбит/сек выбираем скорость передачи данных в сети Ethernet 100 Мбит/с (поток Fast Ethernet).

Выбираем модель коммутатора исходя из следующих критериев: фирма производитель, скорость передачи данных (Мбит/сек), количество портов коммутатора (рекомендуется выбирать коммутатор с количеством портов не ниже 24). Характеристики коммутаторов всех фирм производителей можете найти на Яндекс маркете:

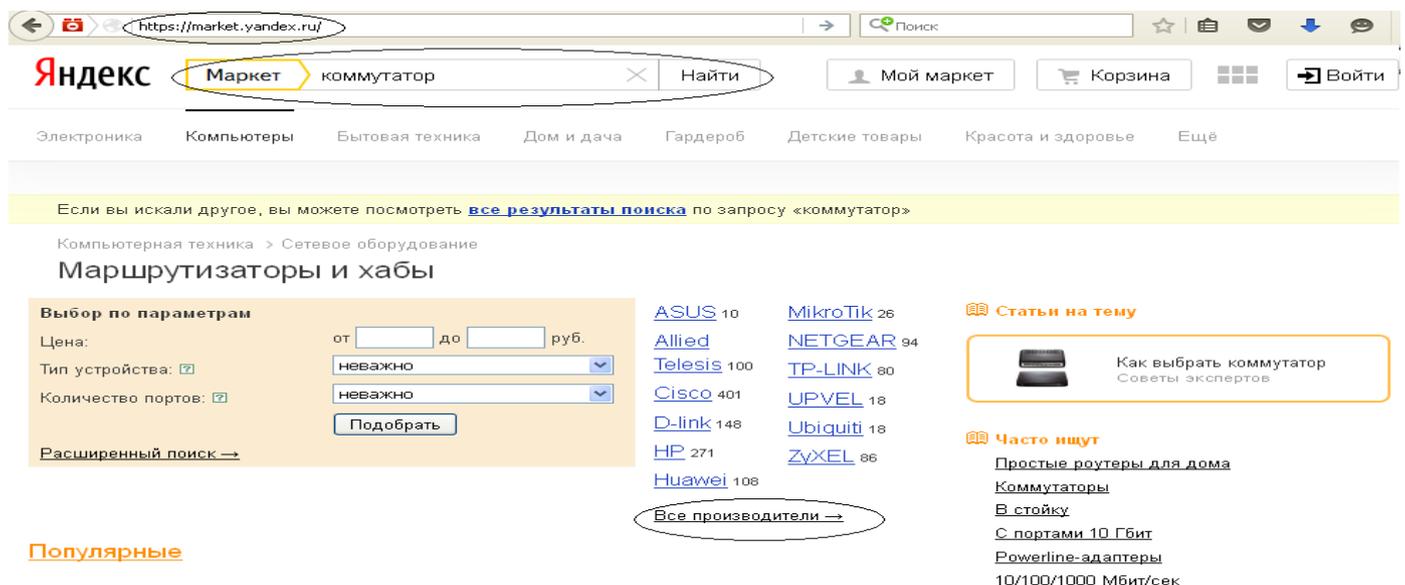


Рисунок 2.1 - Вид окна Яндекс маркета

Для реализации нашей задачи подходит коммутатор QTECH QSW-2900-24T-AC. В контрольной работе необходимо привести все характеристики выбранного коммутатора.

## QSW-2900-24T-AC

- коммутатор (switch)
- возможность установки в стойку
- 2 слота для дополнительных интерфейсов
- 24 порта Ethernet 10/100 Мбит/сек
- 32 Мб оперативной памяти
- 440 x 44 x 160 мм, 2,5 кг

[все характеристики](#)



Рисунок 2.2 – Описание коммутатора QTECH QSW-2900-24T-AC

Структуру локальной сети передачи данных предприятия приведем на рисунке 2.3.

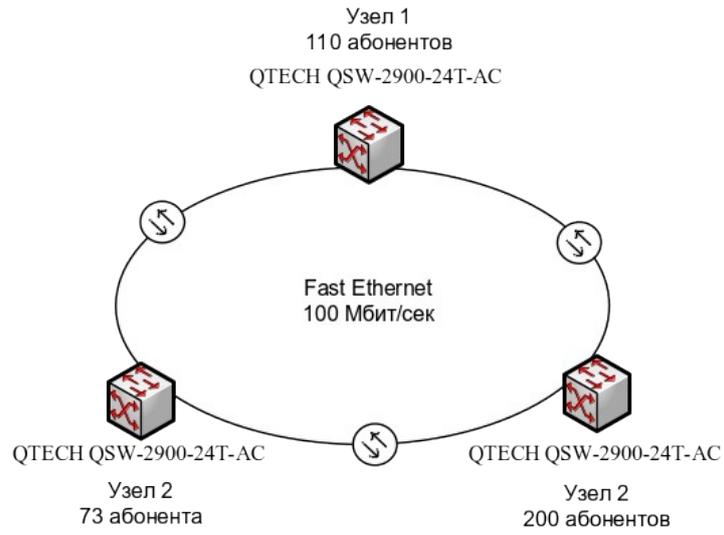


Рисунок 2.3 – Структура локальной сети передачи данных предприятия

### Задание 3

Определить уровень STM-N на заданных участках транспортной сети SDH, топология которой приведена на рисунке 3.1. Выбрать оптические интерфейсы для работы на участках сети. Привести схему организации связи для заданного участка сети.

Считать, что на участках сети проложен оптический кабель, укомплектованный волокнами SF G.652.

Длина участков А-Б и Б-В задана в таблице 3.1.

Число потоков E1, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, передающихся в указанных направлениях, задано в таблицах 3.2, 3.3.

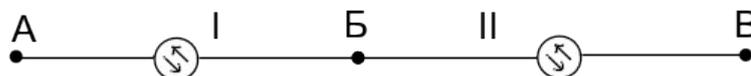


Рисунок 3.1 – Топология транспортной сети

Таблица 3.1 – Длина участков А-Б, Б-В

Параметр	Последняя цифра пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L <sub>А-Б</sub> , км	18	22	15	30	78	99	85	20	66	10
L <sub>Б-В</sub> , км	63	106	71	111	7	29	12	49	18	56

Таблица 3.2 – Проектируемое число потоков E1 в заданных направлениях

Предпоследняя цифра пароля	Направления передачи	Число потоков E1
0	А-Б	56
	А-В	74
1	Б-В	69
	А-В	40
2	А-Б	42
	Б-В	84
3	А-Б	35
	А-В	72
4	Б-В	55
	А-В	86
5	А-Б	24
	Б-В	80
6	А-Б	33
	А-В	68
7	Б-В	47
	А-В	100
8	А-Б	21
	Б-В	55
9	А-Б	65
	А-В	44

Таблица 3.3 – Проектируемое число потоков Fast Ethernet, Gigabit Ethernet в заданных направлениях

Последняя цифра пароля	Направления передачи	Число потоков FE (100BaseX)	Число потоков GE (1000BaseX)
0	А-Б	2	
	А-В		1
1	Б-В	3	
	А-В		1
2	А-Б	2	
	Б-В	3	
3	А-Б	1	
	А-В	4	
4	Б-В		1
	А-В	3	
5	А-Б		1
	Б-В	2	
6	А-Б	2	
	А-В	4	
7	Б-В	3	
	А-В		1
8	А-Б	2	
	Б-В		1
9	А-Б	4	
	А-В	2	

### Методические указания к заданию 3:

#### 3.1 Расчет нагрузки и определение уровня STM на участках сети

Под расчетом нагрузки имеется в виду расчет эквивалентных ресурсов оптической транспортной сети.

*Что следует понимать под эквивалентными ресурсами оптической транспортной сети?*

- Эквивалентное число потоков 2.048Мбит/с (E1) в системах передачи SDH с учетом схемы мультиплексирования этих потоков в VC-12 (1 поток). Определение эквивалента потоков на скорости 2.048Мбит/с необходимо для определения уровня иерархии STM-N (N=1, 4, 16, 64, 256) на участке между узлами сети.

- Эквивалентное число виртуально сцепленных контейнеров в сети SDH, т.е. VC-m/n-Xv (например, VC-12-Xv, где X=1.....63, см. табл.3.3). Определение этого вида эквивалента также необходимо в сети SDH для определения уровня иерархии STM-N, но для нагрузок со скоростными режимами, которые не вписываются оптимально в скоростные режимы VC-12, VC-3 и VC-4.

При выполнении контрольной работы на этапе определения эквивалентных ресурсов транспортной сети можно не учитывать концентрирующие свойства компонентных портов для трафика пакетной передачи.

Как видно, для эффективного использования ресурсов транспортных сетей SDH можно задействовать процедуры конкатенации, т.е. сцепление емкости, например, нескольких VC-3 для передачи трафика 1 Гбит Ethernet или 10 Гбит Ethernet. Известны два типа цепочек из контейнеров: последовательная конкатенация CCAT (Contiguous Concatenation) и виртуальная конкатенация VCAT (Virtual Concatenation). При этом CCAT допускает объединение определенного числа контейнеров, например, VC-4-Xc (X = 4, 16, 64, 256), а VCAT предполагает возможность объединения любого числа VC-12, VC-3, VC-4: VC-12-Xv и VC-3/4-Xv (для последнего, например, X = 1, ..., 256).

Недостатком последовательной конкатенации является необходимость ее поддержки всеми сетевыми элементами сети. Отдельные контейнеры или блоки нагрузки соединены друг с другом в одно целое и могут перемещаться вместе, т.е. использование разных путей для отдельных контейнеров или блоков нагрузки невозможно. Это ведет к сложности взаимодействия транспортной сети и пользовательской нагрузки. Например, сеть SDH в варианте CCAT предлагает только четыре значения пропускной способности: 600, 2400, 9600 и 38400 Мбит/с с соответствующими каналами STM-4, STM-16, STM-64, STM-256. Это неэффективно, например, для 1 Гбит Ethernet.

Указанный недостаток последовательной конкатенации преодолевается в виртуальной конкатенации. Процедура VCAT позволяет передавать сцепленные контейнеры или блоки нагрузки различными маршрутами. Таким образом, для поддержки VCAT необходимы только два оконечных мультиплексора

В любом случае, следует иметь в виду, что размещение потоков происходит согласно рекомендации G.707, а значит, эквивалентное число виртуальных контейнеров VC-12, занимаемое потоками при их размещении в STM-N можно свести в таблицу 3.4:

Таблица 3.4 – Эквивалентное число VC-12, требующееся для передачи потоков

Потоки, согласно ТЗ	Емкость, занимаемая потоком в кадре STM-N	Эквивалентное количество VC-12, занимаемое потоком
E1	VC-12	1
FE	VC-3-2v или VC-12-42v	42
GE	VC-4-7v	441
STM-1	STM-1	63

FE-потоки 100 МБит\с Ethernet

GE – потоки 1Гбит\с Ethernet

В курсовой работе требуется определить эквивалентные ресурсы сети, требующиеся для передачи нагрузки каждого направления, а затем каждого участка сети, с учетом всех направлений, участвующих в нагрузке на данном участке.

После расчета эквивалентного ресурса, выбирается уровень STM-N для каждого участка сети

Например, пусть требуется определить уровень STM-N на участках сети А-Б и Б-В (рисунок 3.1), если требуется передать следующие потоки:

Таблица 3.5 – Пример задания проектируемых ЦП

Тип ЦП	E1	100BaseX (FE)	1000BaseX (GE)
Направления			
А-Б	25		
А-В	60	2	
Б-В			1

Сначала следует определить эквивалентные ресурсы сети, требующиеся для передачи нагрузки каждого направления.

Для этого требуются данные таблицы 3.4:

Эквивалентные ресурсы сети в направлении А-Б (эквивалентное число потоков E1 для данного направления)

$$N_{A-B}=25E1=25VC-12$$

В направлении А-В:

$$N_{A-B}=60E1+2FE=60VC-12+2*42 VC-12=144 VC-12$$

В направлении Б-В:

$$N_{B-B}=1GE=1*441VC-12=441 VC-12$$

После произведенных расчетов по всем направлениям полученные данные заносятся в таблицу 3.6

Таблица 3.6 – Рассчитанный эквивалентный ресурс сети для передачи нагрузки по направлениям:

Тип ЦП	E1	100BaseX (FE)	1000BaseX (GE)	Эквивалентное число VC-12
Направления				
А-Б	25			25
А-В	60	2		144
Б-В			1	441

После расчета эквивалентный ресурс сети по направлениям, необходимо рассчитать эквивалентный ресурс на участках сети, для определения уровня STM. Для этого следует показать пути прохождения нагрузки всех направлений по участкам сети (рисунок 3.2)

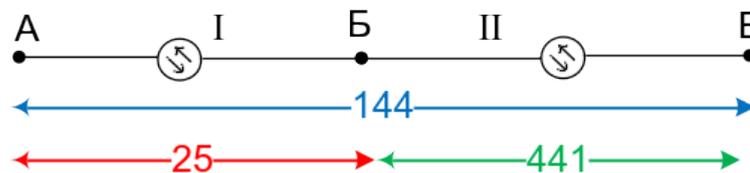


Рисунок 3.2 – Пути прохождения нагрузки всех направлений по участкам сети

Как видно, общая нагрузка на участке I (участок А-Б) складывается из нагрузки двух направлений: А-В и А-Б. Соответственно, общий ресурс сети, который потребуется для работы на данном участке сети, в эквивалентных контейнерах VC-12, будет равен:

$$N_I=N_{A-B}+N_{A-B}=144+25=169 VC-12$$

Далее следует выбрать уровень STM исходя из соображений:

Для STM-1  $1VC-12 \leq N \leq 63VC-12$

Для STM-4  $64VC-12 \leq N \leq 252VC-12$

Для STM-16  $253VC-12 \leq N \leq 1008VC-12$

Для STM-64  $1009VC-12 \leq N \leq 4032VC-12$

Данная нагрузка не превышает емкости STM-4, а значит, именно уровень STM-4 будет выбран для работы на данном участке сети.

Аналогично рассчитывается нагрузка на участке II (Б-В):

$N_{II} = N_{A-B} + N_{B-B} = 144 + 441 = 585$  VC-12,  
 что соответствует уровню STM-16.

### 3.2 Выбор оптических интерфейсов для работы на участках сети, расчет длины регенерационного участка для выбранных интерфейсов.

*Оптические одноканальные интерфейсы стандартов G.957 и G.691* предназначены для аппаратуры синхронной цифровой иерархии SDH со скоростными режимами передачи от 155520кбит/с до 39813120кбит/с. Интерфейсы поддерживают соединение типа «точка-точка» по паре одномодовых волоконных световодов, соответствующих стандартам G.652, G.653, G.654, G.655, G.656. Допускается возможность использования на коротких линиях только одного волокна в кабеле и направленных разветвителей для организации двухсторонней связи на различных волнах, например 1310нм и 1550нм.

Оптические интерфейсы SDH имеют три обширных категории применения:

- внутристанционные связи, соответствующие расстояниям присоединения от нескольких метров (перемычки) до 2км;
- межстанционные связи малой дальности, соответствующие расстояниям присоединения до 25км;
- межстанционные связи большой дальности, соответствующие расстояниям присоединения до 40км на волне передачи 1310нм и около 80км на волне передачи 1550нм.

В рамках каждой из трёх категорий рассматривается использование различных источников излучения (по типу излучателя, по длине волны, по спектру излучения, по виду модуляции и т.д.), приёмников излучения (ЛФД, р-і-n), типу волоконных световодов (SMF, DSF, NZDSF) и т.д. В табл. 3.7 представлена классификация интерфейсов SDH.

Таблица 3.7 - Классификация оптических интерфейсов SDH по применению

Применение		Внутри узла	Межузловое применение						
			Короткая линия		Длинная линия				
Длина волны источника, нм		1310	1310	1550	1310	1550			
Тип волокна		G.652	G.652	G.652	G.652	G.652, 654, 655		G.653, G.655	
Расстояние, км		2	~15	~15	~40	~80		~80	
Уровень STM-N, скорость Мбит/с	STM-1 155,52	I-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1	L-1.2		L-1.3	
	STM-4 622,08	I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	U-4.2	L-4.3	U-4.3
	STM-16 2488,32	I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	U-16.2 V-16.2	L-16.3	U-16.3 V-16.3
	STM-64 9953,28	I-64	S-64.1	S-64.2	L-64.1	L-64.2	V-64.2	L-64.3	U-64.3 V-64.3
	STM-256 39813,12	I-256.2	-	S-256.2	-	L-256.2	-	L-256.3	-

Оптические интерфейсы SDH имеют систему обозначений, в которой отражены особенности интерфейсов по применению:

- I, обозначает линию малой длины внутри предприятия, т.е. intra-office;
- S, обозначает короткую линию, т.е. short-haul, порядка 20 км;
- L, обозначает длинную линию, т.е. long-haul, порядка 40км (при работе на длине волны 1310 нм) или 80 км (при работе на длине волны 1550 нм);
- V, обозначает очень длинную линию, т.е. very long-haul, порядка 120 км;
- U, обозначает сверх длинную линию, т.е. ultra long-haul, порядка 160 км;

При обозначении V и U следует понимать включение в состав линейного интерфейса оптического усилителя (ОА) мощности на передаче (обозначается В – booster, В-ОА) и предусилителя оптического сигнала на приеме (обозначается ВР – booster pre-amplifier, ВР-ОА).

После буквенных индексов в обозначениях интерфейсов следуют цифры:

- первая (-ые) цифра (-ы) указывают на иерархический уровень STM-N (N=1, 4, 16, 64, 256);

- вторая цифра или пробел указывает на номинал длины волны излучения источником и типы волокон (1 или пробел - источник излучения длины волны 1310нм на волокне G.652; 2 – источник излучения длины волны 1550нм на волокне G.652 для применения на малой дальности, либо на волокнах G.654 и G.655 для приложений большой дальности; 3 - источник излучения длины волны 1550нм на волокнах G.653 и G.655 для приложений большой дальности).

Например, если длина участка составляет 13 км, и на данном участке определен уровень STM-4, следует выбрать интерфейс S-4.1.

После выбора интерфейса следует разработать схему организации связи.

Пример схемы организации связи для данных таблицы 3.5 показан на рисунке 3.3

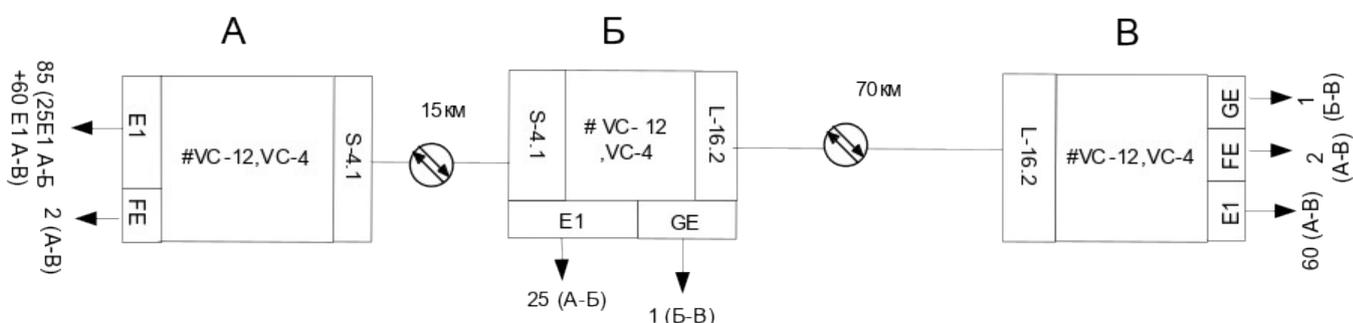


Рисунок 3.3 – Схема организации связи

#### Задание 4

Для заданного количества оптических каналов в ВОСП-WDM и уровня мощности группового сигнала на выходе бустера (табл.4.1), определить уровень передачи канального сигнала в интерфейсе MPI-S и его мощность, а также OSNR в интерфейсе MPI-R при использовании на промежуточных станциях  $M_{yc}$  – эрбиевых усилителей с усилением  $G$  и с коэффициентом шума  $NF$ (табл.4.2). Для скоростей передачи цифровых данных в формате NRZ 2,5Гбит/с и 10Гбит/с считать шум спонтанной эмиссии -58дБм и -56дБм соответственно. Определить, соответствует ли OSNR норме. Разработать схему организации связи.

Таблица 4.1

Параметр	Последняя цифра пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число оптических каналов (N) и скорость передачи в каждом, Гбит/с	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24
	2,5	10	2,5	10	2,5	10	2,5	10	2,5	10
Уровень мощности группового сигнала в интерфейсе MPI-S, $P_{MPI-S}$ , дБм	17	20	16	18	21	23	24	20	22	19

Таблица 4.2

Параметр	Предпоследняя цифра пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число оптических усилителей $M_{yc}$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3
Длина одного пролета, $l_{пр}$ , км	80	90	100	75	85	95	70	83	78	120
Коэффициент шума усилителя $NF$ , дБ	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	5	5	8,3

#### Методические указания к заданию 4

В каждом оптическом сетевом элементе ВОСП-WDM происходит уменьшение величины OSNR – оптического отношения сигнал/шум, вызванное добавлением собственных помех. По этой причине при каскадировании различных сетевых элементов происходит снижение помехоустойчивости в каждом из оптических каналов, что может привести к увеличению числа ошибок цифровой передачи при регенерации сигналов. При проектировании и реконструкции протяжённых оптических каналов с коммутацией и усилением обязательно требуется определить OSNR и сравнить с допустимыми значениями, которые приводятся в технической документации.

На рисунке 4.1 представлены основные устройства и точки нормирования характеристик оптических интерфейсов. К основным устройствам относятся: передатчики-транспондеры ( $T_{xp}$ , преобразующие длины волн из исходной  $f_0$  в  $f_n$  для дальнейшего их мультиплексирования); оптический мультиплексор OMX (Optical Multiplex), объединяющий сигналы  $f_1 - f_n$  в многоканальный (многоволновый) оптический тракт; оптический усилитель OA (Optical Amplifier), повышающий мощности сигналов всех каналов до необходимого уровня в оптическом тракте; волоконно-оптическая линия; промежуточный оптический усилитель (OA) для увеличения дистанции передачи; оптический демультиплексор ODMX (Optical DeMultiplex), разделяющий

сигналы  $f_1$ – $f_n$  на отдельные каналы; приёмники-транспондеры ( $R_{xn}$ , преобразующие длины волн из  $f_n$  в исходную  $f_0$  для дальнейшей их передачи на абонентское оборудование).

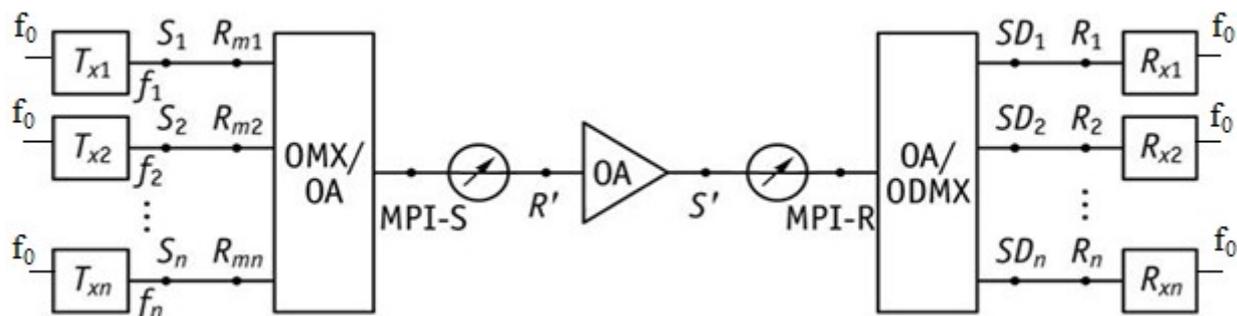


Рисунок 4.1 - Основные устройства и точки нормирования характеристик оптических интерфейсов ВОСП-WDM

В оптической линии:

Точка MPI-S – подключение оптического мультиплексора с усилителем к оптическому линейному кабелю.

Точки  $S', R'$  – подключение промежуточного оптического усилителя OA к линейному оптическому кабелю.

Уровень канального сигнала в интерфейсе MPI-S находится по формуле:

$$P_{ch\ MPI-S} = P_{MPI-S} - 10 \lg N, \text{ дБм} \quad (4.1)$$

где  $N$  – число оптических каналов.

Мощность канального сигнала в интерфейсе MPI-S:

$$P_{ch\ MPI-S} = 1 \text{ мВт} \cdot 10^{0.1 P_{ch\ MPI-S}} \rightarrow [\text{мВт}] \quad (4.2)$$

Для определения оптического отношения сигнал/шум использовать формулу:

$$\text{OSNR} = P_{ch\ MPI-S} - \alpha_{пр} - \text{NF} - 10 \lg M_{ус} - p_{нфв}, \quad (4.3)$$

где  $P_{ch\ MPI-S}$  – уровень мощности канального сигнала в интерфейсе MPI-S,

$\alpha_{пр}$  – затухание пролета,

Согласно G.Sup.39,

$$\alpha_{пр} = \ell_{пр} * 0.275 \text{ дБ/км} \rightarrow [\text{дБ}]$$

NF- коэффициент шума усилителя,

$p_{нфв}$  - уровень шумов нулевых флуктуаций вакуума;

$$p_{нфв} = 10 \lg \frac{h f \Delta f}{1 \text{ мВт}}$$

для скорости передачи до 2,5 Гбит/с ( $\Delta f = 12,5 \text{ ГГц}$ ),  $p_{нфв} = -58 \text{ дБм}$ ,

для скорости передачи 10 Гбит/с ( $\Delta f = 20 \text{ ГГц}$ ),  $p_{нфв} = -56 \text{ дБм}$ ,

Полученное значение OSNR сравнить с нормой, которая составляет для скорости передачи в канале 2,5 Гбит/с - 18 дБ, для скорости передачи в канале 10 Гбит/с - 20 дБ.

Схему организации связи разработать согласно рисункам 5.8 и 5.14 лекционного материала.

Привести схемы подключения абонентов к услугам, предоставляемым по технологии PON.

Количество абонентов рассчитать по данным таблицы 5.1 при 100% подключении (из расчета 1 квартира - 1 абонент).

Таблица 5.1

Количество подключаемых домов	$N+1$ , где $N$ соответствует последней цифре номера группы
Количество подъездов в домах	$M$ – соответствует количеству букв в имени
Количество этажей в домах	$K$ - соответствует количеству букв в фамилии
Количество квартир на площадке	4

В задании должно быть отражено:

- описание технологии PON (1-2 листа);
- описание передачи информации в восходящем и нисходящем потоке;
- техническое описание характеристики оборудования, применяемого на сети PON (оборудование, применяемое на станционной и абонентской стороне);
- схемы для подключения пользователей к услугам широкополосного доступа:
  - 1) схема подключение группы домов к OLT,
  - 2) схема подключения кабеля внутри дома,
  - 3) схема прокладки кабеля в помещении.

### Методические указания к заданию 5

Описание технологии PON и передачи информации в восходящем и нисходящем потоке может быть выполнено по материалу главы 6 «Сети доступа» или по Интернет-источникам (достаточно ввести запрос «сети PON» в строку поиска).

OLT (оптический линейный терминал), устанавливаемый на станционной стороне, подбирается в зависимости от количества абонентов. Количество абонентов в проектируемой сети рассчитывается:  $(N+1) * M * K * 4$ . Количество ONT (оптический сетевой терминал) устанавливается у каждого абонента.

Для подключения абонентов в доме использовать сплиттеры (разделители сигналов) 1:64.

Техническое описание характеристики оборудования, применяемого на сети PON (оборудование, применяемое на станционной стороне и абонентской) можете найти на Яндекс маркете:

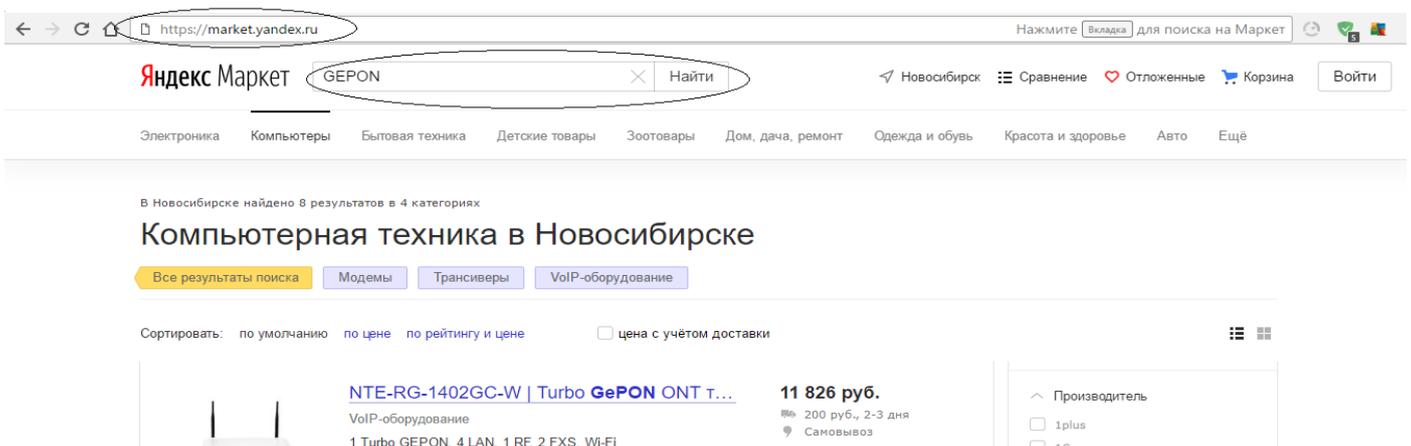


Рисунок 4.1 - Вид окна Яндекс маркета  
Пример выполнения схем задания 5:

Произведем подключение к услугам широкополосного доступа пользователей, проживающих в 8-ми пятиэтажных 3-х подъездных домах. Количество абонентов в проектируемой сети составит:  $(N+1) * M * K * 4 = 8*5*3*4 = 480$  абонентов.

Схема проектируемой сети доступа:

На проектируемом участке 480 источника информации в восьми 5-х этажных 3-х подъездных домах, где размещаются по 4 квартиры на площадке. В одном доме располагается  $5*3*4=60$  квартир. Таким образом, для построения сети дома достаточно установить **один сплиттер с коэффициентом деления 1:64**. Для подключения **одного сплиттера** достаточно использовать **одно оптическое волокно**. Схема подключение группы домов к OLT приведена на рисунке 5.2.

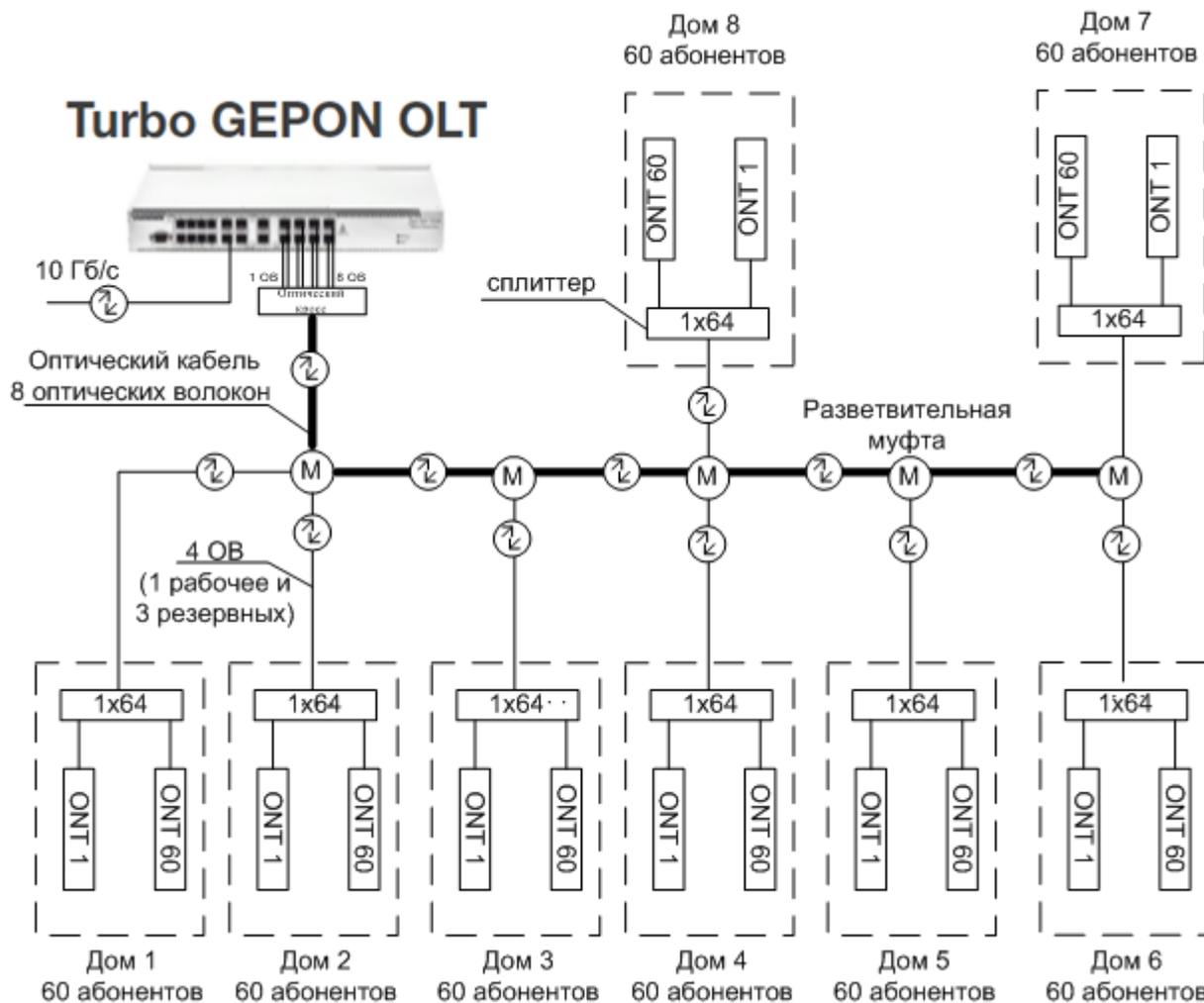


Рисунок 5.2 - Схема подключение группы домов к OLT

Проект предполагает:

- установка полки OLT «XXXXXX» производителя «XXXX»;
- установка 480 оптических абонентских терминалов производителя «XXXX» GEPON у каждого абонента;
- прокладка магистрального оптического 8-волоконного оптического кабеля от ODF на станции до разветвительной муфты (M). Прокладка осуществляется в существующей кабельной канализации;
- прокладка распределительного 4-х оптоволоконного оптического кабеля от разветвительной муфты (M) до оптического распределительного шкафа ОРШ каждого здания марки. В четырех волоконном кабеле одно ОВ (1 рабочих и 3 резервных) будет использоваться до каждого здания. Прокладка осуществляется в существующей кабельной канализации;

- установка оптических распределительных шкафов ШКОН-КПВ 64 в подъездах жилых домов, куда будут установлены сплиттеры 1x64 и оптический кросс;
- установка сплиттеров PLC SPLITTER 1x64 в ОПШ.

Схема разводки кабеля внутридомовая:

Принципом организации распределения внутреннего оптического кабеля по дому является Central Distribution Layout (распределение из одной точки), т.е. все абоненты подключаются из одной точки распределения.

В доме устанавливается оптический распределительный шкаф (ОПШ), в который монтируется оптический сплиттер с коэффициентом деления 1x64, и оптический кросс (ODF) для организации распределительной сети по дому. В распределительной коробке выводится 4 волокна. Горизонтальный кабель (оптический парч-корд) соединяется с одной стороны разъемным соединением к одному из волокон через кросс-муфту, другим к ONT абонента.

На последних этажах оставляется запас оптического кабеля в размере 5 м для выполнения сварки или механического соединения кабеля. С целью сохранения вложенных инвестиций и при условии обеспечения удельных затрат по проекту рекомендуется предусматривать прокладку ОВ с количеством оптических волокон из расчета 100% от количества квартир.

Схема разводки кабеля внутридомовая приведена на рисунке 5.3.

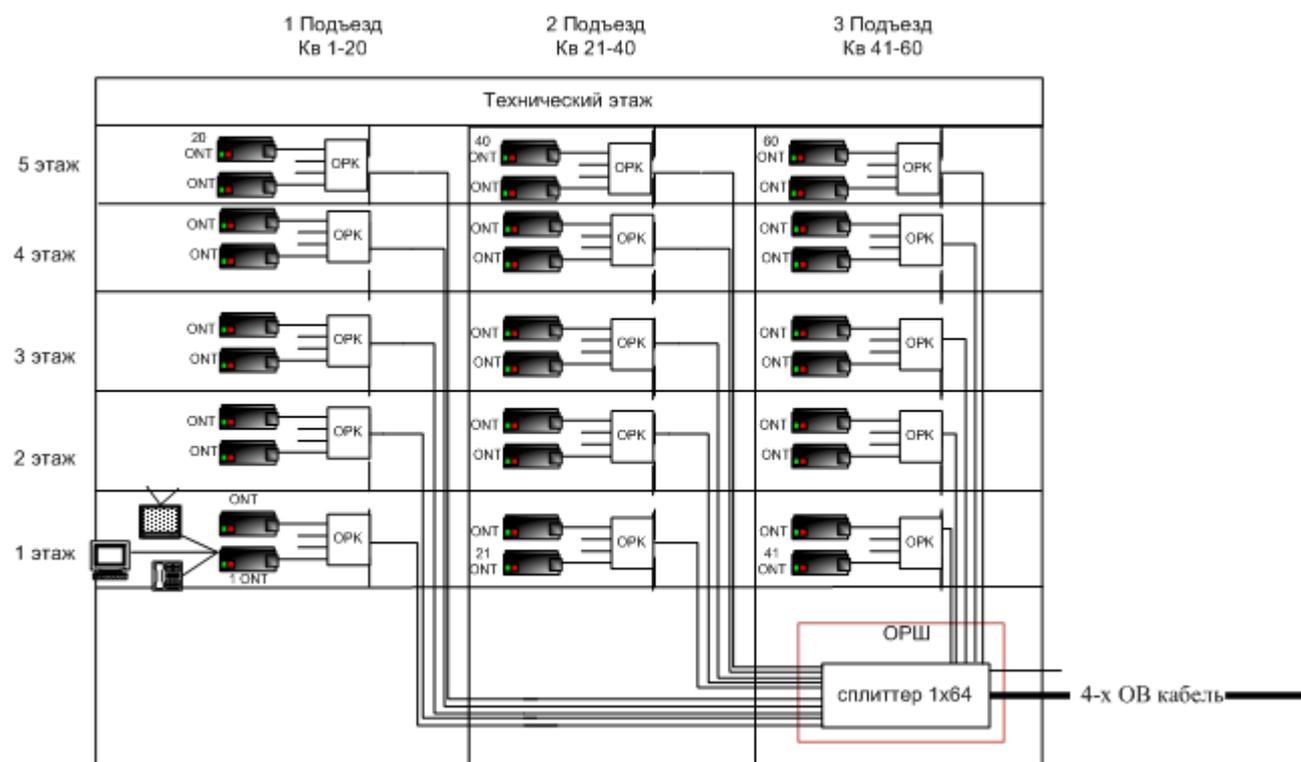


Рисунок 5.3 - Схема разводки кабеля внутридомовая

Типовая схема подключения абонента по технологии GPON приведена на рисунке 5.4.

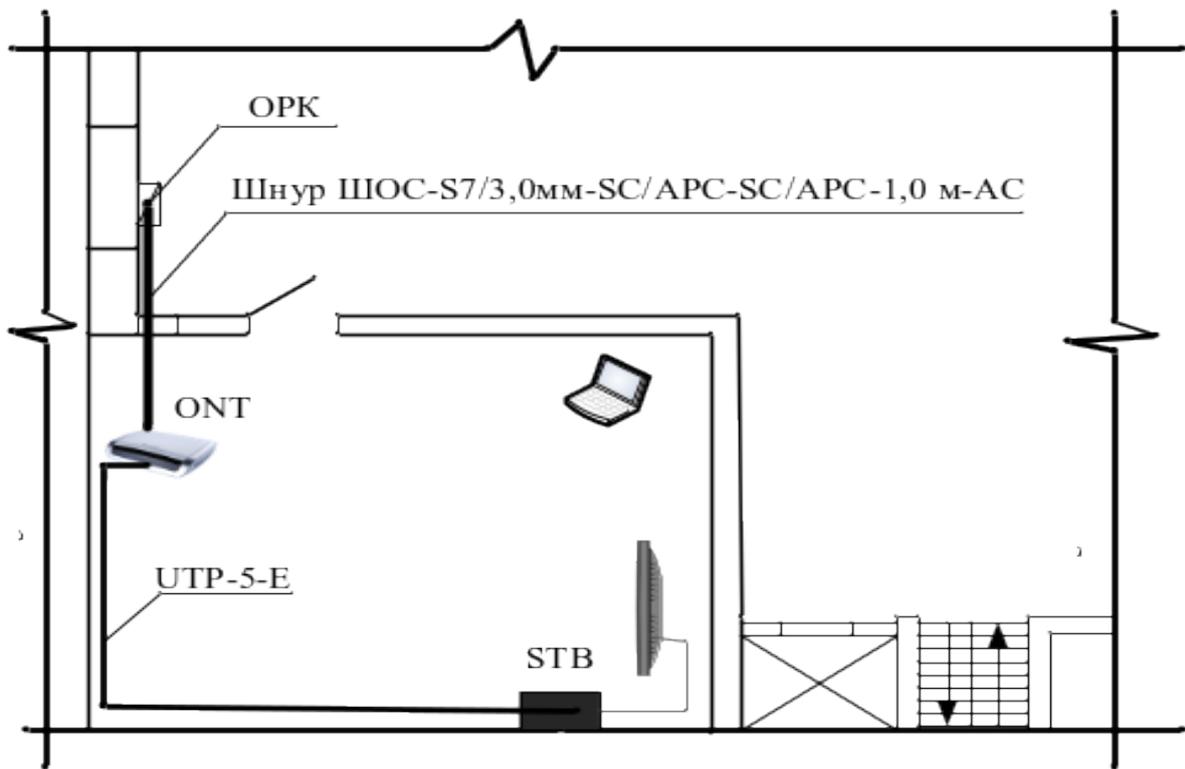


Рисунок 5.4 - Типовая схема подключения абонента по технологии GPON