

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

Кафедра « Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Методические указания
к выполнению курсового проекта по дисциплине
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ
ПЕРЕДАЧИ**

(для студентов направления подготовки 11.03.02 **Инфокоммуникационные
технологии и системы связи** профиля **Мобильная связь и интернет вещей**
квалификации «бакалавр» всех форм обучения)

Ростов-на-Дону
2022 г.

Профессор Нерсисянц А.А., доцент Борисов Б.П.

Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Проектирование и эксплуатация систем передачи» (для студентов направления подготовки 11.03.02 профиля **Мобильная связь и интернет вещей** квалификации «бакалавр» всех форм обучения). Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский филиал МТУСИ, 2022. – 41 с.

Курсовой проект посвящен разработке участков цифровых волоконно-оптических магистралей SDH для региональной первичной сети.

Курсовой проект предлагает семь обязательных пунктов для расчета. Методические указания содержат приложения для ориентирования студентов по основным техническим характеристикам аппаратуры и оптических кабелей, что не исключает, а предполагает, использование студентами справочной литературы, технической документации и информации доступной в Internet.

Методические указания утверждены на заседании кафедры ИТСС.

Протокол от «19» декабря 2022 г. № 5

СОДЕРЖАНИЕ

| | СТР. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Задание к курсовому проекту..... | 4 |
| 1. Исходные данные к курсовому проекту | 4 |
| 1.1 Структура проектируемой сети..... | 4 |
| 1.2 Определение объёмов цифровых потоков..... | 7 |
| 1.3 Пример определения матрицы тяготения..... | 9 |
| 2. Расчет пропускной способности участков первичной сети..... | 10 |
| 3. Выбор типа оптической секции..... | 13 |
| 3.1. Выбор типа оптической секции | |
| 3.2. Выбор типа синхронного мультиплексора | |
| 4. Расчет длины регенерационного участка..... | 16 |
| 5. Расчет длины усилительного участка..... | 20 |
| 6. Расчет показателей надежности внутризоновой первичной сети..... | 23 |
| 7. Расчет параметров качества участка проектируемой ВЗПС..... | 25 |
| 8. Вопросы для собеседования..... | 26 |
| 9. Литература..... | 27 |
| 10. Приложение 1. Условные обозначения на схемах организации связи с использованием систем передачи синхронной цифровой иерархии (SDH)..... | 28 |
| 11. Приложение 2. Параметры оптических интерфейсов STM-1..... | 32 |
| 12. Приложение 3. Параметры оптического волокна | 39 |

Задания к курсовому проекту

Разработать схему организации связи сегмента первичной сети SDH, включая:

1. Выбрать исходные данные и рассчитать матрицу тяготения.
2. Рассчитать пропускную способность участков первичной сети.
3. Выбрать аппаратуру SDH для каждого узла сети и тип оптического кабеля.
4. Рассчитать длину регенерационного участка.
5. Рассчитать параметры усилительного участка.
6. Рассчитать параметры надёжности проектируемой первичной сети.
7. Рассчитать параметры качества проектируемой первичной сети.

1. Исходные данные к курсовому проекту

1.1. Структура проектируемой сети

Проектируемая первичная сеть является частью классической структуры сетей с коммутацией пакетов, в которых, как правило, имеются четко выраженные составляющие: сети абонентского доступа (САД), первичная сеть (ПС) и вторичная сеть (ВС) (рисунок 1).

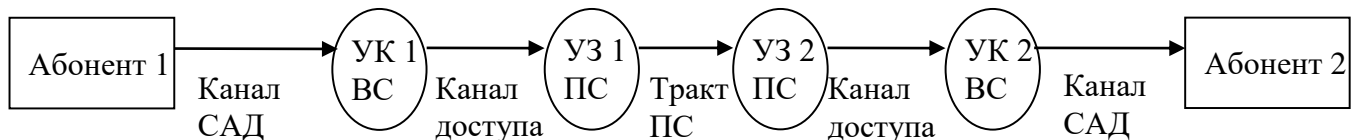


Рисунок 1. Обобщенная структура мультисервисной сети

Обозначения на рисунках:

- УК1....УК5 - узлы коммутации;
- MBV – мультиплексоры ввода вывода.

Основой любой реальной сети связи является уровень неспециализированной (универсальной) первичной сети, представляющей собой совокупность узлов и соединяющих их типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов.

Современные городские и территориальные опорные сети (backbone) строятся почти исключительно на базе оконечных мультиплексоров (ОМ) и мультиплексоров ввода/вывода (МВВ) и соединяющих их волоконно-оптических линий связи (ВОЛС).

Для передачи применяется технология SDH с использованием стандартных транспортных модулей STM-1, STM-4, STM-16, STM-64 и STM-256 (скорости соответственно 155 Мбит/с, 622 Мбит/с, 2,5 Гбит/с, 10 Гбит/с и 40 Гбит/с). В последнее время в городских структурах поверх технологии SDH успешно реализуется технология Ethernet на скоростях 1 Гбит/с и 10 Гбит/с.

Упомянутая выше универсальность ПС состоит в том, что для нее безразличен тип передаваемого трафика. ПС выполняет заказ (как правило, в виде аренды) на предоставление определенной полосы пропускания для пропуска цифрового потока. При этом основными договорными параметрами являются каналные скорости

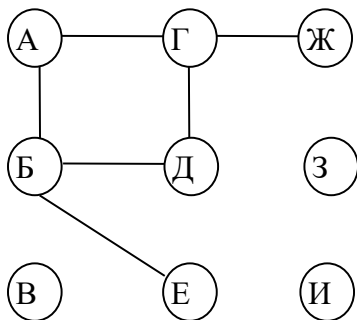
передачи данных (от 2 Мбит/с и выше) и допустимая вероятность ошибок в битах – Bit Error Rate – $BER = 10^{-9} \div 10^{-12}$.

На базе первичных сетей создаются разнообразные вторичные сети, которым ПС предоставляет сетевые тракты для пропуска трафика вторичной сети. Сетевой тракт – это групповой тракт или несколько последовательно соединенных групповых трактов с включенной на входе и выходе аппаратурой образования тракта. Сетевой тракт обеспечивает целостность передачи информации по соединениям трактов от точки формирования тракта в одном из сетевых узлов, до точки его расформирования в другом сетевом узле (в нашем случае от одного мультиплексора (ОМ или MBV) до другого).

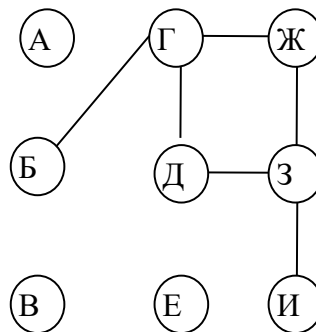
Исходные данные для настоящего курсового проекта формируются следующим образом:

а) В соответствии с последней цифрой шифра по рисунку 2 выбирается 6-узловой фрагмент, для которого производится весь последующий расчёт.

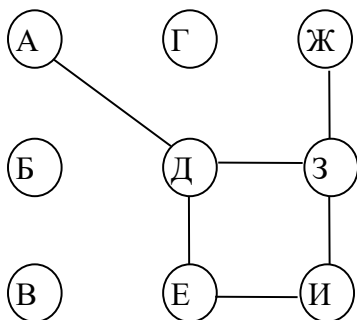
Вариант 0



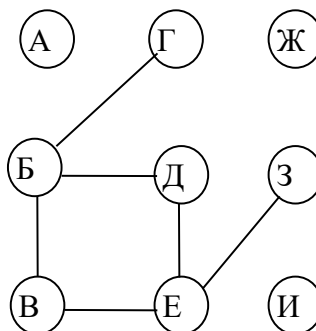
Вариант 1



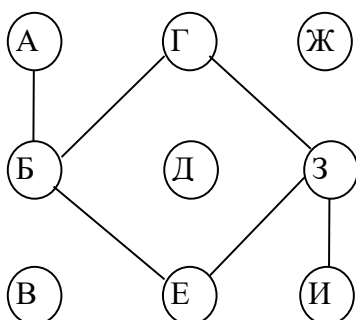
Вариант 2



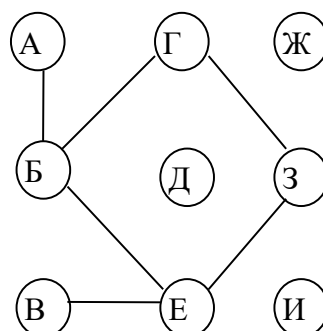
Вариант 3



Вариант 4



Вариант 5



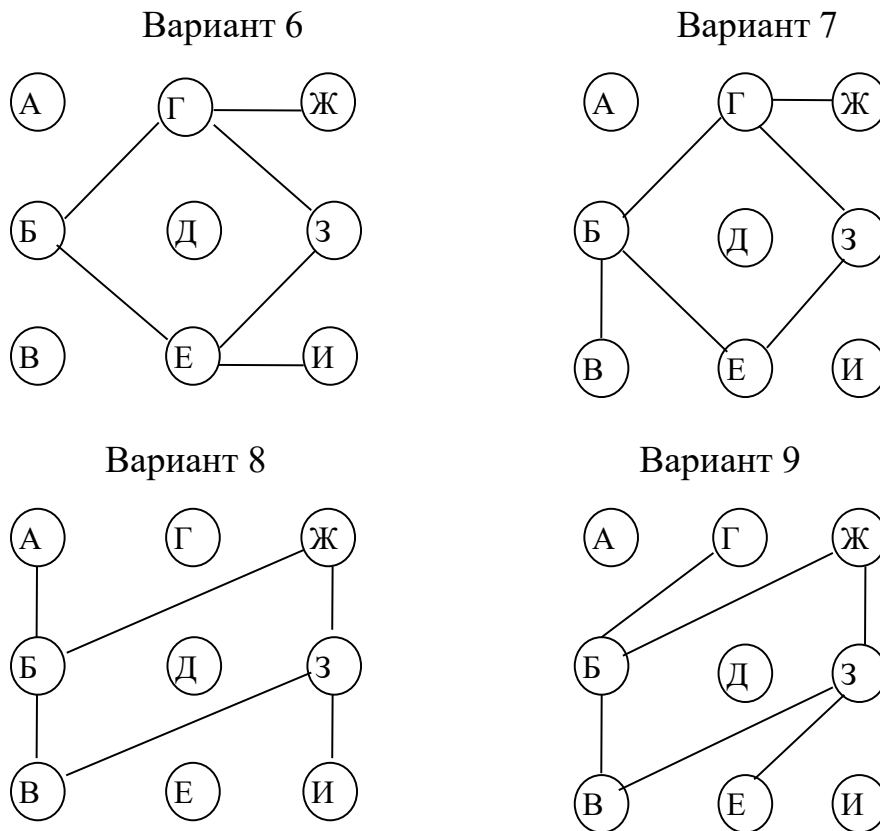


Рисунок 2. Варианты конфигураций проектируемой первичной сети.

б) Расстояния между узлами конкретного варианта определяются в соответствии с таблицей 1. Расстояния указаны в километрах. Так как полная матрица расстояний в данном проекте симметрична относительно главной диагонали, то в таблице 1 приведена только правая верхняя часть.

Таблица 1 – Матрица расстояний

| Узлы | А | Б | В | Г | Д | Е | Ж | З | И |
|------|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| А | | 90 | – | 100 | 130 | – | – | – | – |
| Б | – | | 80 | 110 | 70 | 120 | 180 | – | – |
| В | – | – | | – | – | 80 | | 170 | – |
| Г | – | – | – | | 65 | – | 70 | 110 | – |
| Д | – | – | – | – | | 85 | – | 75 | – |
| Е | – | – | – | – | – | | – | 130 | 95 |
| Ж | – | – | – | – | – | – | | 55 | – |
| З | – | – | – | – | – | – | – | | 70 |
| И | – | – | – | – | – | – | – | – | |

Пример: Для варианта 00 задействованы узлы А, Б, Г, Д, Ж, Е. Отсутствуют узлы В, И, З. Формирование матрицы расстояний осуществляется из таблицы 2 путем удаления столбцов и строк, соответствующих отсутствующим узлам. Полученная в результате этой операции матрица представлена таблицей 2.

Таблица 2 – Исходная матрица расстояний

| Узлы | | А | Б | Г | Д | Е | Ж |
|------|--|---|----|-----|-----|-----|-----|
| А | | | 90 | 100 | 130 | – | – |
| Б | | – | | 110 | 70 | 120 | 180 |
| Г | | – | – | | 65 | – | 70 |
| Д | | – | – | – | | 85 | – |
| Е | | – | – | – | – | | – |
| Ж | | – | – | – | – | – | |

1.2. Определение объёмов цифровых потоков

Объёмы цифровых потоков между узлами определяются из таблицы 3 путём удаления лишних строк и столбцов, т.е. тех строк и столбцов, которые соответствуют отсутствующим в данном варианте узлов. Например, для варианта 0 из табл. 3 должны быть удалены строки и столбцы узлов В, З, И. После этого все значения потоков Е1 полученной матрицы тяготений шестого порядка умножаются на коэффициент, выбираемый из таблицы 4 в соответствии с предпоследней цифрой шифра. Получаемые при этом дробные значения чисел цифровых потоков Е1, округляются до ближайших целых в большую сторону. Затем все значения потоков Е3 в 1-й строке полученной матрицы тяготений увеличиваются на число, соответствующее последней цифре текущего года (по времени защиты проекта).

В общем случае, матрица тяготений асимметрична. Это объясняется асимметричностью таких обменов как клиент-сервер, пользователь-Internet, потоки теле- и радиовещания (даже в их интерактивных вариантах) и др. Однако, поскольку целью данного проекта является, в первую очередь, расчёт первичной сети, то представленная в таблице 3 матрица тяготений для упрощения проекта сформирована в симметричном варианте.

Само содержимое потоков Е1/Е3/Е4 (с некоторых пор производители перестали включать в состав своей аппаратуры порты Е2) может формироваться, например, следующим образом:

- узлу коммутации (УК) пакетов вторичной сети (IP/MPLS) пункта А необходим тракт передачи для связи с УК пункта Б с пропускной способностью около 110 Мбит/с. Оператор вторичной сети (ВС) договаривается с оператором первичной сети (ПС) об организации от мультиплексора А (ОМ или MBV) к мультиплексору Б выделенного канала Е4 (140 Гбит/с);

- корпоративной сети для связи своих филиалов в пунктах А и Б необходим канал с пропускной способностью не менее 20 Мбит/с. Оператор ПС организует между соответствующими мультиплексорами канал Е3 (34 Мбит/с);

- АМТС пункта А для обмена телефонным трафиком с МГУС (междугородный узел связи), расположенным в пункте Б, необходимо организовать 80 каналов Е1;

- мобильным коммутационным центрам (MSC), расположенным в пунктах А и Б, для пропуска трафика мобильных абонентов необходимо организовать в обе стороны по 2 канала Е3.

Матрица тяготений (табл. 3) формируется после учёта всех многочисленных требований, подобных вышеприведённым. Значения потоков в таблице 3 означают числа потоков Е1/Е3/Е4. Например, от узла А к узлу Б необходимо организовать 45 потоков Е1, 10 потоков Е3 и 3 потока Е4.

Таблица 3 - Матрица тяготений

| Узлы | А | Б | В | Г | Д | Е | Ж | З | И |
|------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| А | | 45 | 50 | 15 | 60 | 65 | 10 | 50 | 40 |
| | | 10 | 20 | 8 | 16 | 14 | 4 | 10 | 20 |
| | | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Б | | | 70 | 65 | 10 | 55 | 50 | 40 | 45 |
| | | | 20 | 18 | 6 | 14 | 12 | 10 | 10 |
| | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| В | | | | 10 | 55 | 60 | 6 | 70 | 50 |
| | | | | 4 | 12 | 14 | 3 | 15 | 18 |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Г | | | | | 60 | 65 | 7 | 50 | 5 |
| | | | | | 10 | 12 | 4 | 18 | 2 |
| | | | | | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Д | | | | | | 40 | 25 | 50 | 10 |
| | | | | | | 15 | 7 | 19 | 4 |
| | | | | | | 2 | 1 | 1 | 2 |
| Е | | | | | | | 5 | 50 | 65 |
| | | | | | | | 2 | 14 | 12 |
| | | | | | | | 1 | 2 | 3 |
| Ж | | | | | | | | 45 | 7 |
| | | | | | | | | 16 | 5 |
| | | | | | | | | 3 | 1 |
| З | | | | | | | | | 40 |
| | | | | | | | | | 13 |
| | | | | | | | | | 2 |
| И | | | | | | | | | |

Отметим, что в общем случае, в качестве входящих в мультиплексоры трибутарных потоков могут использоваться не только потоки PDH (т.е. Е1, Е3 и Е4), но и потоки SDH.

Таблица 4 - Коэффициент увеличения нагрузки

| Вариант (предпоследняя цифра шифра) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| Коэффициент | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2 |

Таким образом, в результате выполнения раздела 1 данной работы должна быть определена матрица тяготений 6-и узловой сети, элементами которой являются числа трибуртарных потоков $(n_1, n_3, n_4)_{ij}$ между узлами i и j , т.е. потоков Е1, Е3 и Е4 соответственно.

1.3. Пример определения матрицы тяготений.

Рассмотрим вариант 00, т.е. вариант, в котором последняя и предпоследняя цифры шифра равны нулю.

Конфигурация сети, выбранная по рисунку 2 для варианта 0, включает 6 узлов: А, Б, Г, Д, Е и Ж. В соответствии с этим таблицу 3 преобразуем в таблицу 5, исключив из неё строки и столбцы, соответствующие отсутствующим узлам В, З и И. Удаление строк и столбцов выполняется обычными операциями над таблицей 3.

Таблица 5 - Матрица тяготений

| Узлы | | | | | | |
|------|---|----|----|----|----|----|
| | А | Б | Г | Д | Е | Ж |
| А | | 45 | 15 | 60 | 65 | 10 |
| | | 10 | 8 | 16 | 14 | 4 |
| | | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Б | | | 65 | 10 | 55 | 50 |
| | | | 18 | 6 | 14 | 12 |
| | | | 3 | 1 | 2 | 1 |
| Г | | | | 60 | 65 | 7 |
| | | | | 10 | 12 | 4 |
| | | | | 3 | 2 | 1 |
| Д | | | | | 40 | 25 |
| | | | | | 15 | 7 |
| | | | | | 2 | 1 |
| Е | | | | | | 5 |
| | | | | | | 2 |
| | | | | | | 1 |
| Ж | | | | | | |

По полученной матрице (таблица 5) можно определить, например, что трафик от узла Г к узлу Е состоит из 65 потоков Е1, 12 потоков Е3 и 2-х потоков Е4. В силу принятых нами допущений о симметричности потоков, трафик от узла Е к узлу Г тоже будет равен величинам 65/12/2.

Для окончательного формирования матрицы тяготений соответствующего варианта необходимо все значения потоков Е1 таблицы 5 умножить на коэффициент из таблицы 4 (в нашем случае этот коэффициент равен 1.1) и округлить до ближайшего большего.

В таблице 6 представлена итоговая матрица тяготений проектируемой 6-и узловой сети.

Таблица 6 – Итоговая матрица тяготений

| Узлы | А | Б | Г | Д | Е | Ж |
|------|---|----|----|----|----|----|
| А | | 50 | 17 | 66 | 72 | 11 |
| | | 10 | 8 | 16 | 14 | 4 |
| | | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Б | | | 72 | 11 | 61 | 55 |
| | | | 18 | 6 | 14 | 12 |
| | | | 3 | 1 | 2 | 1 |
| Г | | | | 66 | 72 | 8 |
| | | | | 10 | 12 | 4 |
| | | | | 3 | 2 | 1 |
| Д | | | | | 44 | 28 |
| | | | | | 15 | 7 |
| | | | | | 2 | 1 |
| Е | | | | | | 6 |
| | | | | | | 2 |
| | | | | | | 1 |
| Ж | | | | | | |

2. Расчет пропускной способности участков первичной сети

Первичная сеть (ПС) в данном проекте представляет собой оптоволоконную сеть радиально-кольцевой структуры на базе технологии SDH. Это опорная сеть, предоставляющая услуги в виде определенной полосы пропускания любым пользователям на основе долговременной аренды (принцип выделенного канала).

Всего задействовано 4 волокна по 2 в каждом направлении, из которых один основной и один резервный (система резервирования 1:1, время переключения на резерв до 50 мс). Остальные волокна кабеля (так называемые «темные волокна») находятся в резерве на случай расширения пропускной способности сети или повреждения рабочих волокон.

На оптоволоконном кольце расположены 6 мультиплексоров ввода/вывода (MBV или Add/Drop Multiplexer – ADM), с которыми совмещены 6 узлов коммутации вторичной сети, т.е. по одной паре УК – MBV в каждом информационном микрорайоне (ИМП). На самом деле SDH-кольцо может содержать больше MBV, но для проектируемой мультисервисной сети эти MBV прозрачны и могут не рассматриваться.

Основой для такого расчета может служить полученная в предыдущем разделе матрица тяготений, элементы которой определяют все межузловые потоки.

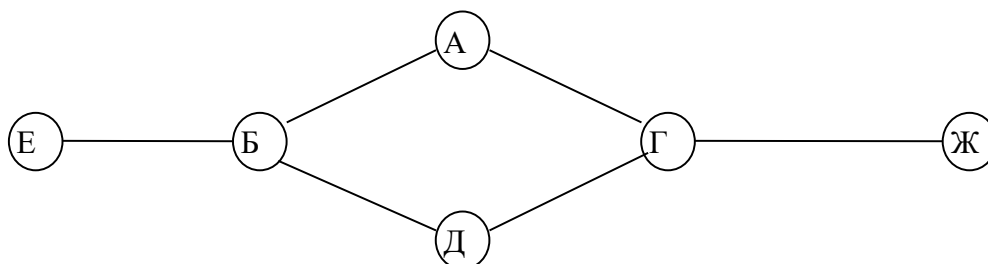


Рисунок 3 - Схема проектируемой сети

Для определения суммарной пропускной способности для 6-и участков первичной сети достаточно занести значения матрицы тяготений в таблицу 7 в процессе просмотра всех 15 межузловых потоков. Например, узлы А и Б связаны непосредственно, поэтому потоки 50/10/3 фиксируются только в участке а – б (строка 1). Узлы А и Е связываются по двум участкам, поэтому потоки 72/14/2 фиксируются в участках А – Б и Б – Е (строка 4).

Таблица 7 - Распределение стандартизированных потоков вторичной сети по участкам первичной сети.

| № | Потоки вторичной сети | | | | | | |
|----|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | а – б | а – г | б – д | б – е | г – д | г – ж |
| 1 | А → Б | 50 10 3 | | | | | |
| 2 | А → Г | | 17 8 1 | | | | |
| 3 | А → Д | 66 16 3 | | 66 16 3 | | | |
| 4 | А → Е | 72 14 2 | | | 72 14 2 | | |
| 5 | А → Ж | | 11 4 1 | | | | 11 4 1 |
| 6 | Б → Г | | | 72 18 3 | | 72 18 3 | |
| 7 | Б → Д | | | 11 6 1 | | | |
| 8 | Б → Е | | | | 61 14 2 | | |
| 9 | Б → Ж | | | 55 12 1 | | 55 12 1 | 55 12 1 |
| 10 | Г → Д | | | | | 66 10 3 | |
| 11 | Г → Е | 72 12 2 | 72 12 2 | | 72 12 2 | | |
| 12 | Г → Ж | | | | | | 8 4 1 |

| | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|-----|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 13 | Д → Е | | | <u>44</u> <u>15</u> 2 | <u>44</u> <u>15</u> 2 | | |
| 14 | Д → Ж | | | | | <u>50</u> <u>17</u> 3 | <u>28</u> <u>7</u> 1 |
| 15 | Е → Ж | | | <u>6</u> <u>2</u> 1 | <u>6</u> <u>2</u> 1 | <u>6</u> <u>2</u> 1 | <u>6</u> <u>2</u> 1 |
| Суммарные потоки по участкам первичной сети | | 250 | | | | | 108 |
| | | <u>52</u> | | | | | <u>29</u> |
| | | 10 | | | | | 5 |
| Требуемые суммарные пропускные способности участков первичной сети, Мбит/с | | 3668 | | | | | 1902 |
| Стандартный транспортный модуль, STM-N | | STM-64 | | | | | STM-16 |
| Коэффициент использования пропускной способности канала | | 0.37 | | | | | 0.76 |
| Длины участков первичной сети, км | | 90 | 100 | 70 | 120 | 65 | 70 |

После распределения межузловых потоков по участкам первичной сети определяются суммарные потоки по каждому участку сначала в числах потоков Е1/Е3/Е4, а потом и в виде битовой скорости. Например, для участка А – Б (суммарные потоки 250/52/10) битовая скорость определяется как $C = 250 \cdot 2 \text{ Мбит/с} + 52 \cdot 34 \text{ Мбит/с} + 10 \cdot 140 \text{ Мбит/с} = 3668 \text{ Мбит/с}$.

Таким образом, на участке сети А – Б необходимо организовать SDH тракт с синхронным транспортным модулем STM-64, обеспечивающим битовую скорость до 10 Гбит/с.

Аналогичным образом определяются битовые скорости и транспортные модули для остальных 5-и участков. Для удобства дальнейших расчётов в таблице 7 приведены и длины каждого из 6-и участков сети.

Тот факт, что в нашем примере коэффициент использования пропускной способности канала на участке А-Б оказался ниже 50% не является недостатком проекта. Наоборот, в телекоммуникационных компонентах (узлы, каналы, тракты, сегменты сети и т.д.) существует не формальная граница опасной степени загрузки, равная 0,7. При превышении этой границы компоненты сети или вся сеть считаются перегруженными и не гарантируют выполнение требований по качеству обслуживания.

Кроме того, с учётом экспоненциального роста пользовательского трафика (примерно, ежегодное удвоение), логично при проектировании сети ориентироваться на коэффициент использования, лежащий в пределах от 0,3 до 0,5 (в данном проекте это не является обязательным требованием).

Наличие многовариантной маршрутизации позволяет в ряде случаев несколько выравнивать коэффициенты использования каналов. Например, в проектируемой сети связь узлов Е и Ж можно выполнить по маршруту Е-Б-А-Г-Ж, или по альтернативному маршруту Е-Б-Д-Г-Ж. В данной работе рекомендуется проводить

аргументированный подход к альтернативной маршрутизации. Например, трафик, допускающий примерно равноценные альтернативные маршруты, направлять через менее загруженные участки сети.

3. Определение параметров оптической секции SDH

3.1. Выбор типа оптической секции

Необходимо определить тип оптических секций на сети и их интерфейсов, произвести выбор типа оптического волокна и желательно марку оптического кабеля, определить параметры оптических интерфейсов синхронных транспортных модулей соответствующего уровня SDH.

Оптическая секция или цифровой стык включает в себя аппаратуру окончания оптического линейного тракта (АОЛТ), стационарный оптический кабель (СОК) и линейный оптический кабель (ЛОК).

АОЛТ оборудования SDH представляет собой плату оптического стыка в составе аппаратуры синхронного мультиплексора STM-N, на цифровом стыке которой формируется цифровой сигнал N-ого уровня иерархии STM, параметры которого определены в рекомендациях МСЭ-T G.707.Y.1332.

Для систем передачи SDH требуется обеспечение поперечной совместимости, т.е. использование на концах оптического тракта оборудования различных производителей. Это требование привело к классификации оптических стыков по коду применения.

Обозначение кода применения состоит из обозначения типа применения, далее, уровня STM-N, отделенного точкой от приводимого (или неприводимого) цифрового символа, обозначающего длину волны источника излучения и тип применяемого оптического кабеля. Т.е. «ТИП ПРИМЕНЕНИЯ – УРОВЕНЬ STM. ЦИФРОВОЙ СИМВОЛ».

Рассмотрим эти обозначения подробнее:

ТИП ПРИМЕНЕНИЯ:

VSR – очень короткие (very short reach);

I – для внутриобъектовой связи (intra);

S – для короткой межстанционной связи (short);

L – для длинной межстанционной связи (long);

V – для очень длинной межстанционной связи (very);

U – для сверхдлинной межстанционной связи (ultra).

УРОВЕНЬ STM: определяет тип используемого фрагмента данных и соответствующие канальные скорости – STM-1, STM-4, STM-16 и т.д.

ЦИФРОВОЙ СИМВОЛ:

1 - Номинальная длина волны источника излучения 1310 нм и тип кабеля со стандартным ОВ (рекомендации G.652 МСЭ-T).

2 - Номинальная длина волны источника излучения 1550 нм и тип кабеля со стандартным ОВ (рекомендации G.652 МСЭ-T).

3 - Номинальная длина волны источника излучения 1550 нм и тип кабеля со стандартным ОВ с нулевой смещенной дисперсией (рекомендации G.653 МСЭ-Т).

4 - Номинальная длина волны источника излучения 1550 нм и тип кабеля со стандартным ОВ с ненулевой смещенной дисперсией (рекомендации G.655 МЭС-Т).

Отсутствие цифрового символа означает номинальную длину волны источника излучения 1310 нм и тип кабеля с ОВ, соответствующего рекомендациям G.652 МСЭ-Т (используется для внутриобъектовой связи)

Коды применения для оборудования SDH приведены в таблицах 8, 9, 10.

Таблица 8. КЛАССИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ STM-1 STM-4 STM-16, коды приложений **I, S, L**.

| Использование | | Внутри | Методу станциями | | | | |
|---------------------------------------------|--------|-------------|------------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|
| | | | Короткая секция | | Длинная секция | | |
| Номинальная длина волны источника, нм | | 1310 | 1310 | 1550 | 1310 | 1550 | |
| Тип волокна | | G.652 | G.652 | G.652 | G.652 | G.652. G.654 | G.653 |
| Расстояние, км | | 2 | 15 | | 40 | 80 | |
| Уровни SDH | STM-1 | <i>I-1</i> | <i>S-1.1</i> | <i>S-1.2</i> | <i>L-1.1</i> | <i>L-1.2</i> | <i>L-1.3</i> |
| | STM-4 | <i>I-4</i> | <i>S-4.1</i> | <i>S-4.2</i> | <i>L-4.1</i> | <i>L-4.2</i> | <i>L-4.3</i> |
| | STM-16 | <i>I-16</i> | <i>S-16.1</i> | <i>S-16.2</i> | <i>L-16.1</i> | <i>L-16.2</i> | <i>L-16.3</i> |
| | | | | | | | |

Таблица 9 - КЛАССИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ (коды **S, L** для STM-64, 256)

| Параметр | Значение | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Номинальная длина волны источника, нм | 1310 | 1550 | 1550 | 1550 | 1310 | 1550 | 1550 |
| Тип волокна | G.652 | G.652 | G.653 | G.655 | G.652 | G.652 | G.653 |
| Заданное расстояние, км | 20 | 40 | 40 | 40 | 40 | 80 | 80 |
| STM-64 | <i>S-64.1</i> | <i>S-64.2</i> | <i>S-64.3</i> | <i>S-64.5</i> | <i>L-64.1</i> | <i>L-64.2</i> | <i>L-64.3</i> |
| Заданное расстояние, км | | 40 | 40 | | | 80 | 80 |
| STM-256 | | <i>S-256.2</i> | <i>S-256.3</i> | | | <i>L-256.2</i> | <i>L-256.3</i> |

Таблица 10 - КЛАССИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ (Коды **V** и **U**)

| Параметр | Очень длинная секция | | | Сверхдлинная секция | |
|---------------------------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------------|---------------|
| | | | | | |
| Номинальная длина волны источника, нм | 1310 | 1550 | 1550 | 1550 | 1550 |
| Тип ОВ (рекомендация МСЭ-Т) | G.652 | G.652 | G.653 | G.652 | G.653 |
| Протяженность, км | 60 | 120 | 120 | 160 | 160 |
| STM-1, | — | — | — | — | — |
| STM-4 | V-4.1 | V-4.2 | V-4.3 | U-4.2 | U-4.3 |
| STM-16 | — | V-16.2 | V-16.3 | U-16.2 | U-16.3 |
| Протяженность, км | 60 | 120 | 120 | — | — |
| STM-64 | — | V-64.2 | V-64.3 | — | — |
| STM-256 | — | — | — | — | — |

Для рассматриваемого варианта (Вариант 00) необходимо определить коды секций БЕ, АБ, АГ, БД, ДГ и ГЖ в соответствии с таблицами 8, 9 и 10.

Например, для секций «А-Б» и «Г-Ж» получим следующие типы оптической секции:

- секция А-Б – **V. 64.3** (очень длинная межстанционная связь, STM – 64, длина волны источника излучения 1550 нм);
- секция Г-Ж - **L. 16.3** (длинная межстанционная связь, STM – 16, длина волны источника излучения 1550 нм).

3.2. Выбор синхронного мультиплексора

Выбор мультиплексора, особенно в реальном проектировании, является важнейшим этапом работы. Здесь нужно в комплексе учесть энергетические, скоростные, ценовые и другие параметры различных изделий.

При выборе оборудования необходимо анализировать справочные данные по поставляемому фирмами изготовителями оборудованию. Наиболее полную и свежую информацию можно найти в Internet. Кроме того, некоторые сведения по оборудованию приведены в приложении к настоящему методическому пособию.

Для дальнейшего расчёта необходимо выписать следующие параметры передачи мультиплексора (без оптических усилителей):

Уровень передачи, дБм...

Длина волны, нм...

Чувствительность приемника $K_{\text{чп}}$, дБм...

Затухание регенерационного участка, дБ...

Уровень перегрузки приемника, дБм...

Дисперсия, пс/нм

Тип источника излучения...

Тип оптического детектора...

Исходя из кодов участков, определённых в п. 3.1, на них используется оптический кабель с ОВ, работающий на длине волны 1550 нм и обладающий нулевой смещенной дисперсией (рекомендации G.653)

Усредненные данные таких ОВ:

Километрическое затухание - 0,19-0,25 дБ/км

Хроматическая дисперсия – 3,3 пс/нм.км

В качестве производителя кабеля выбирается ОК ЗАО «Самарская кабельная компания». Тип кабеля - ОКЛК-01 с $\alpha = 0,22$ дБ/км и $\delta = 1,8$ пс/нм.км .

Параметры типовых разъёмных соединений приведены в таблице 11

ТАБЛИЦА 11. ПОТЕРИ В РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ (Рек. G.957 МСЭ-Т)

| Параметр | Некалиброванные | | Калиброванные | |
|-------------------------------------------------|-----------------|-------|---------------|-------|
| Потери при соединении с образцовым разъемом, дБ | Среднее | 0,20 | Среднее | 0,14 |
| | 94% | <0,30 | 95% | <0,30 |
| | 97% | <0,40 | 99% | <0,40 |
| Потери при соединении «любой с любым», дБ | Среднее | 0,30 | Среднее | 0,15 |
| | 60% | <0,30 | 94% | <0,30 |
| | 85% | <0,50 | 98% | <0,40 |

4. Расчет длины регенерационного участка (РУ)

Предельная протяженность РУ ограничивается как затуханием, так и шириной полосы пропускания оптического тракта.

Как правило, при использовании стандартного оборудования линейных трактов ЦВОСП совместно с рекомендуемыми для них оптическими кабелями, максимально допустимая длина регенерационного участка, определенная по энергетическим характеристикам систем (энергетический потенциал, уровни передачи и приема оптического излучения, затухание регенерационного участка), оказывается меньше максимальной длины, определяемой дисперсионными характеристиками ОВ. Поэтому при проектировании рекомендуется длину регенерационного участка определять только по энергетическим параметрам ЦВОСП.

Для определения длины регенерационного участка (между точками S и R, см. рис. 5) составляется его расчетная схема, в которой приняты следующие обозначения: ОС-Р – оптический соединитель разъемный (их число на регенерационном участке равно 2); НРП – необслуживаемый регенерационный пункт; ППОМ – приемопередающий оптический модуль, преобразующий оптический сигнал в электрический, восстанавливающий параметры последнего и снова преобразующий его в оптический); ОС-Н – оптический соединитель неразъемный, число которых на единицу меньше числа строительных длин оптического кабеля, составляющих регенерационный участок; $l_{стр}$ – строительная длина оптического кабеля, равная 2...4 км (это длина кабеля, наматываемого на кабельную катушку на заводе изготовителе кабеля); ОВ – оптическое волокно; $l_{ру}$ – длина регенерационного участка.

Максимальная длина РУ по затуханию рассчитывается по формуле:

$$L_{\text{зат. макс}} = \frac{\mathfrak{E} - \Delta\mathfrak{E}_3 - \alpha_{pi} \cdot n_{pc}}{\alpha_k + \frac{\alpha_{nc}}{L_{cmm}}} [\text{км}]$$

Минимальная длина РУ определяется динамическим диапазоном АРУ (автоматическая регулировка усиления) приемного оптического модуля α_{APY} , его величина лежит в пределах 12-15 дБ.

$$L_{\text{зат. мин}} = \frac{\mathfrak{E} - \mathfrak{E}_3 - \alpha_{pc} \cdot n_{pc} - \alpha_{APY}}{\alpha_k + \frac{\alpha_{nc}}{L_{cmm}}} [\text{км}]$$

На длину регенерационного участка влияет широкополосность, которая зависит от нормированной среднеквадратической дисперсии волокна $\sigma_b \left[\frac{n_c}{n_m \cdot \text{км}} \right]$ и ширины полосы оптического излучения источника $\Delta\lambda[nm]$. Расчетная формула для длины РУ по дисперсии имеет вид:

$$L_{\text{дисп}} = \frac{0,25 \cdot 10^{-12}}{\sigma_b \cdot \Delta\lambda \cdot B} [\text{км}]$$

где B – скорость передачи цифрового сигнала в линии, численно равная тактовой частоте.

Рассчитав значения $L_{\text{зат. макс}}$, $L_{\text{зат. мин}}$ и $L_{\text{дисп}}$ определяются предельные значения длины РУ, удовлетворяющие всем требованиям. По результатам расчета длины РУ, выбранной топологии ВЗПС и длин участков (см. таблицу 7) разрабатывается схема связи, которую надо привести на рисунке 5 курсового проекта. При этом необходимо использовать условные обозначения, приведенные в приложение 1.

В заключение рассчитывается диаграмма распределения энергетического потенциала. Диаграмму рассчитать для участка, не содержащего необслуживаемых регенерационных пунктов. При расчете принять величину строительной длины ОК равной 4 км. Уровень оптической мощности, поступающей на вход приемника, зависит от уровней передачи оптического передатчика, потерь мощности в ОВ, потерь мощности в разъёмных и неразъёмных соединениях. При расчетах принять $\alpha_{pc} = 0,5$ дБ, $\alpha_{nc} = 0,1$ дБ.

Графически примерная диаграмма распределения энергетического потенциала имеет вид (Рисунок 6).

Поскольку все уровни передачи диаграммы распределения энергетического потенциала рассчитаны, то ее изображение возможно в условном масштабе, но обязательно с указанием характерных основных точек диаграммы.

Аналитически диаграмма распределения энергетического потенциала представляется как:

$$P_{np} = P_{nep} - \alpha_{pc1} - \alpha_{nc1} - \alpha_k \cdot l_i - \sum_{i=2}^{n-1} \alpha_k \cdot l_i - \sum_{i=3}^{n-2} \alpha_{nc} \cdot l - \alpha_{ncn-1} - \alpha_k \cdot l_n - \alpha_{ncm} - \alpha_{pc2}$$

Диаграмма распределения энергетического потенциала служит основой для расчета основных параметров оптического линейного тракта.

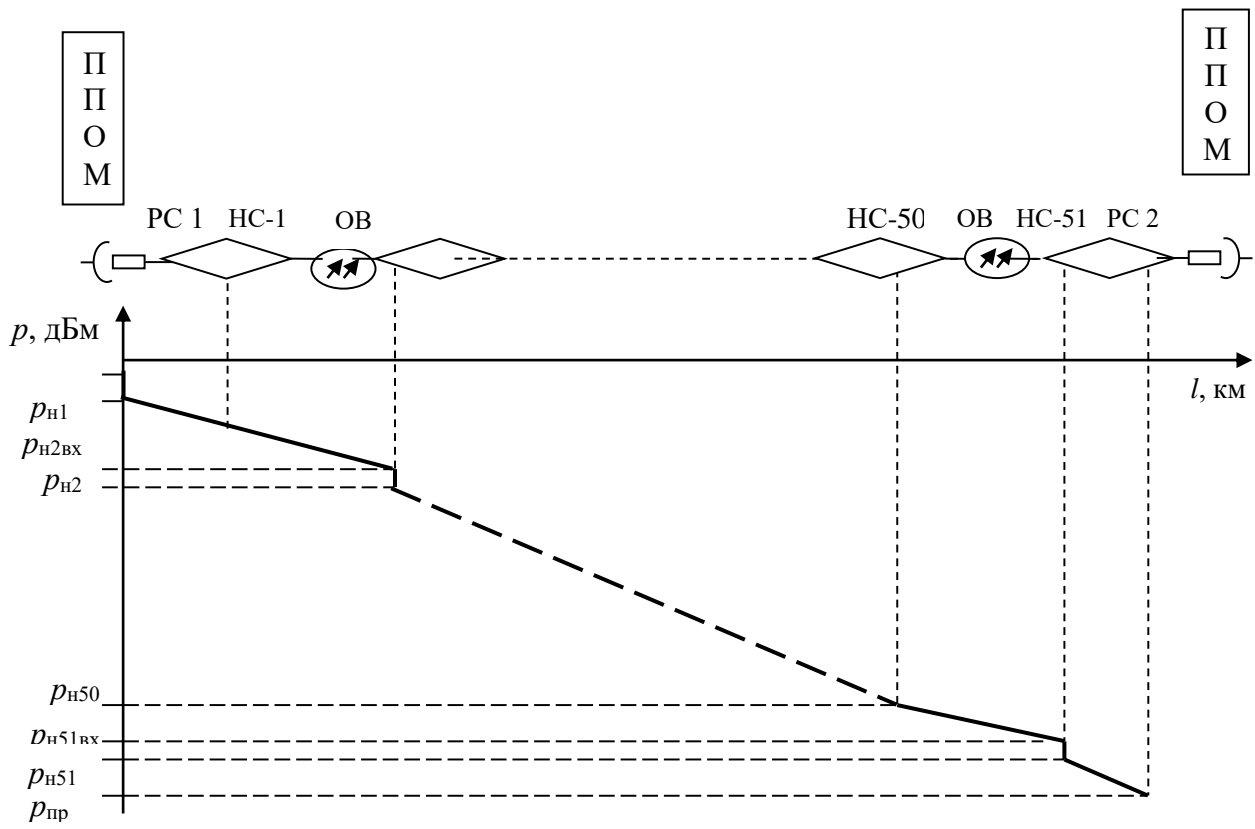


Рисунок 6. Диаграмма распределения энергетического потенциала

5. Расчет длины усилительного участка.

Решить проблему компенсации потерь ОВ можно включением на секциях оптических усилителей. Выбор варианта компенсации потерь определяется несложными экономическими расчетами. Оптические усилители находят самое широкое применение в ВОСП-СР.

Исходные данные к выполнению задания приведены в таблице 12. Вариант выбирается по двум последним цифрам номера студенческого билета.

Таблица 12. Параметры ВОСП-СР

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|
| Количество спектральных каналов ВОСП-СР, <i>m</i> | | | 4 | 8 | 16 | 32 | 48 | 48 | 32 | 16 | 8 | 4 |
| Уровень синхронного транспортного модуля, <i>N</i> (STM-N) | | | 4 | 16 | 64 | 64 | 16 | 4 | 4 | 16 | 64 | 16 |
| Логарифмический коэффициент шума, дБ | | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 |
| Минимально допустимая защищенность оптического сигнала от оптических шумов, <i>A</i> _з , для вероятности ошибки не хуже 10 ⁻¹² , не менее, дБ | | | 18 | 20 | 28 | 31 | 21 | 19 | 21 | 23 | 30 | 27 |
| Количество ЭКУ на участке регенерации ВОСП-СР, <i>k</i> | | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 4 |
| Системный запас ВОСП-СР, Δ <i>Э</i> _з , дБ. | | | 10 | 12 | 14 | 15 | 16 | 17 | 16 | 16 | 15 | 14 |
| Затухание разъемного соединения, <i>A</i> _р , не более, дБ | | | 0,35 | | 0,40 | | 0,45 | | 0,50 | | 0,47 | |
| Затухание неразъемного соединения, <i>A</i> _н , не более, дБ | | | 0,1 | | | | | | | | | |
| Параметры оптического кабеля | | | Номер варианта | | | | | | | | | |
| <i>α</i> , дБ/м | <i>l</i> _{стр} , км | <i>σ</i> _{ов} , пс/нм·км | | | | | | | | | | |
| 0,22 | 2 | 3,5 | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 |
| 0,21 | 4 | 18 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 0,18 | 2 | 15 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 0,30 | 4 | 17 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
| 0,20 | 2 | 5,0 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 |
| 0,23 | 4 | 3,5 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 |
| 0,33 | 2 | 16 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 |
| 0,36 | 4 | 17 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 |
| 0,25 | 2 | 18 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 |
| 0,35 | 4 | 3,5 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 |

Длина усилительного участка волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП) определяется по двум критериям:

- 1) максимально перекрываемого затухания – максимальной длины усилительного участка;
- 2) максимально допустимой величины перекрываемой хроматической дисперсии.

Для определения длины усилительного участка составляется расчетная схема, рисунок 7, где приняты следующие обозначения: ОУ_л – линейный оптический усилитель; ОС-Р – оптический соединитель разъемный; ОС-Н – оптический соединитель неразъемный; ОВ – оптическое волокно, S – точка передачи и R – точка приема; l_{yy} – длина усилительного участка.

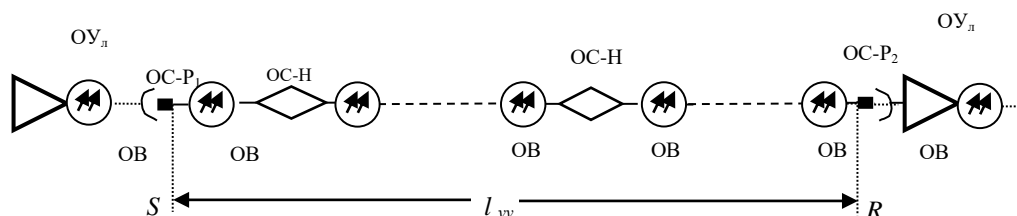


Рисунок 7. Расчетная схема для определения длины усилительного участка ВОСП-СР

Расчет по первому критерию производится по формуле для максимальной длины элементарного кабельного участка (ЭКУ) ВОЛП с применением оптических усилителей различного типа: мощный усилитель или *бустер* и линейный усилитель. Напомним, что под ЭКУ понимается пассивный кабельный участок (между точками S и R), не содержащий оптических усилителей и регенераторов. Рекомендация МСЭ-Т определяет точку S, как точку на ОВ сразу за оптическим разъемом ОС-Р₁, а точку R, как опорную точку на ОВ сразу перед оптическим разъемом ОС-Р₂. Параметры этих усилителей одинаковы (таблица 13).

Таблица 13 - Параметры оптических усилителей

| Наименование параметров ОУ | Значение параметров |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1 Уровень входной суммарной мощности: минимальный, дБм максимальный, дБм | – 36,0 + 1,0 |
| 2 Уровень выходной суммарной мощности. P_S : минимальный, дБм максимальный, дБм | – 10,0 + 17,0 |
| 3. Коэффициент усиления: минимальный, дБм максимальный, дБм | 10,0 33,0 |
| 4. Неравномерность коэффициента усиления в заданном диапазоне рабочих длин волн, не более, дБ | 3,0 |
| 5. Шум-фактор F_{yc} в заданном диапазоне длин волн (при минимальном уровне суммарной входной мощности), не более, дБ | 6,0 |
| 6. Коэффициент отражения на входе и выходе, не более, дБ | – 30,0 |

Длина ЭКУ может быть определена по формуле

$$L_{ЭКУ} = \frac{P_s - 10 \lg m - P_{ASF} - F_{yc} - A_3 - 10 \lg k - \Delta \mathcal{E}_3 - 2A_p}{\alpha + A_{HC} / l_{cmp}}, \quad (7),$$

где $L_{ЭКУ}$ – длина ЭКУ, км; p_s – уровень абсолютной мощности оптического сигнала на выходе усилителя передачи в точке S, дБ; m – количество оптических каналов проектируемой ВОЛП; P_{ASF} – усиленное спонтанное усиление, приведенное ко входу усилителя, дБ; F_{yc} – логарифмический коэффициент шума оптического усилителя, дБ; A_3 – минимально допустимая защищенность оптического сигнала от оптических шумов (отношение сигнал/шум), дБ; k – количество ЭКУ на участке регенерации ВОСП-СР, учитывающее процесс накопления шумов, вносимых оптическими усилителями; $\Delta \mathcal{E}_3$ – системный запас ВОЛП, дБ, учитывающий дополнительные потери по кабелю, за счет дисперсии и нелинейных процессов в ОВ, потери в ОМ/ОД и оптических фильтрах; A_p – затухание разъемного соединения – ОС-Р, дБ; A_H – затухание неразъемного соединения – ОС-Н, дБ; l_{cmp} – строительная длина оптического кабеля, км; α – коэффициент затухания ОК, дБ/км.

П р и м е р: Рассчитать длину усилительного участка ВОСП-СР с использованием STM-16, положив следующие значения величин, в нее входящих:

$p_s = 25$ дБм – абсолютный уровень выходной суммарной мощности оптического сигнала с учетом запаса по усилению;

$m = 16$ – число оптических каналов; $10 \lg m = 10 \lg 16 = 12$ дБ, следовательно, уровень передачи по оптическому каналу $p_{пер} = p_s - 10 \lg m = 25 - 12 = 13$ дБм.

$F_{yc} = 7$ дБ – логарифмический коэффициент шума оптического усилителя;

$A_3 = 23$ дБ – минимально допустимая защищенность оптического сигнала от оптических шумов, при которой коэффициент ошибок не будет более 10^{-12} при регенерации цифрового сигнала;

$k = 3$ – количество ЭКУ на участке регенерации ВОСП-СР, с учетом эмпирической длины усилительного участка в пределах 100 км

$10 \lg k = 10 \lg 3 = 4,77$ дБ;

$\Delta \mathcal{E}_3 = 15$ дБ – системный запас ВОЛП;

$A_p = 0,5$ дБ – затухание разъемного соединения – ОС-Р;

$A_H = 0,1$ дБ – затухание неразъемного соединения – ОС-Н;

$l_{cmp} = 2$ км – строительная длина оптического кабеля, например, типа ОКЛ-2;

$\alpha = 0,22$ дБ/км – коэффициент затухания.

Усиленное спонтанное излучение рассчитывается по формуле

$$P_{ASE} = 10 \lg \left(\frac{hc}{\lambda} \Delta f \cdot 10^3 \right),$$

где $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ – постоянная Планка, (Вт·с); $c = 2,998 \cdot 10^{17}$ – скорость света в вакууме, нм/с; λ – длина волны в С-диапазоне (1529...1560); $\Delta f = f_t$ – полоса частот цифрового сигнала, передаваемого по оптическому каналу (при расчетах берется равной скорости передачи цифрового потока выбранного STM-N с учетом кода линейного цифрового сигнала или синхронного транспортного модуля соответствующего уровня).

Подставив значения величин, в нее входящих: $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Вт·с; $c = 2,998 \cdot 10^{17}$ нм/с; $\lambda = 1550,12$ нм; $\Delta f = 2,5 \cdot 10^9$ Гц, получим

$$P_{ASE} = 10 \lg \left(\frac{hc}{\lambda} \Delta f \cdot 10^3 \right) = 10 \lg \left(\frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^{17}}{1550,12} \cdot 2,5 \cdot 10^9 \cdot 10^3 \right) = -65, \text{ дБм.}$$

Подставив значения всех величин ($p_s = 27$ дБм, $10 \lg m = 10 \lg 16 = 12$ дБ; $p_{ASF} = -65$ дБм; $F_{yc} = 7$ дБ; $A_3 = 23$ дБ; $10 \lg k = 10 \lg 3 = 4,77$ дБ; $\Delta \alpha_3 = 15$ дБ; $A_p = 0,5$ дБ; $A_H = 0,1$ дБ; $l_{cmp} = 2$ км; $\alpha = 0,22$ дБ/км), получим:

$$L_{\text{экв}} = \frac{25 - 12 - (-65) - 7 - 23 - 4,77 - 15 - 2 \cdot 0,5}{0,22 + 0,1/2} = 120,9 \text{ км.}$$

С учетом 5-ти процентного запаса оптического кабеля длина усилительного участка относительно расчетной должна быть уменьшена на величину $120,9 \cdot 0,05 = 6$ км. Следовательно, длина усилительного участка равна 115 км.

6. Расчет показателей надежности участка внутризоновой первичной сети.

В данном разделе необходимо рассчитать надежность ОЦК на участке заданной протяженности внутризоновой первичной сети, образованной аппаратурой ВОЦСП и участками ОК. Расчет производится для сети в соответствии с п.1 задания на КП и данных таблиц 6 и 7, а также результатами расчетов задания 4.

Под надежностью объекта (элемента или системы) понимают его свойство сохранять во времени и в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих качество передачи. Комплексным показателем надежности восстанавливаемых объектов, к которым относятся устройства электросвязи, является коэффициент готовности K_r , определяющий вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени. С коэффициентом готовности связан коэффициент простоя $K_p = 1 - K_r$, который определяет вероятность того, что объект окажется в неработоспособном состоянии в произвольный момент времени.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени (наработки). Ее характеризуют показателями:

- наработкой на отказ, или средним временем между отказами T_o ч.
- средним временем восстановления T_v , ч;
- интенсивностью отказов - средним количеством отказов в единицу времени (обычно в течение одного часа) $\lambda(t)$, 1/ч;

Считается, что в период нормальной эксплуатации (после приработки и до физического износа), интенсивность отказов постоянна $\lambda(t) = \text{const} = \lambda$.

В этом случае $T_o = 1/\lambda$, а вероятность безотказной работы; $P(t) = e^{-\lambda t}$

Очевидные соотношения:
$$K_z = \frac{T_o}{T_o + T_v}; \quad K_n = \frac{T_v}{T_o + T_v};$$

Если считать, что отказы элементов в системе независимы, а отказ одного элемента приводит к отказу всей системы в целом, то при n элементах в системе

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i; \quad K_c = \prod_{i=1}^n K_{ci}; \quad K_n = \sum_{i=1}^n K_{ni}$$

Среднее время восстановления системы из N элементов:

$$T_{\text{вс}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i T_{\text{вс}i}}{\lambda_c}$$

Требуемые показатели надежности канала передачи зависят от его протяженности.

$$T_{\text{ол}} = \frac{T_{\text{ом}} \cdot L_{\text{м}}}{L}; \quad K_{\text{пл}} = (1 - K_{\text{гм}}) \cdot \frac{L}{L_{\text{м}}};$$

где $T_{\text{ом}}$ - норматив среднего времени между отказами,

$K_{\text{гм}}$ - коэффициент готовности канала максимальной протяженности.

Для канала внутризонавой первичной сети длиной $L_{\text{м}}=1400\text{км}$. установлено:

- канал ТЧ существующей сети $T_{\text{ом}} \geq 111,4 \text{ ч.}$ $K_{\text{гм}} \geq 0,99$.

- ОЦК перспективной сети: $T_{\text{ом}} \geq 2050 \text{ ч.}$ $K_{\text{гм}} \geq 0,998$.

При расчете надежности магистрали расчет ведется отдельно для линейно-кабельных сооружений (ЛКС) аппаратного комплекса.

При расчете показателей надежности ЛКС учитывают:

- $\lambda_{\text{к1}}$ - интенсивность отказов одного километра оптического кабеля в год из-за внешних причин. Его значения вычисляют из того, что на 100км кабеля приходится в среднем 0,15 повреждений в год:

$$\lambda_{\text{к1}} = 0,15 / 100 \cdot 8765 = 1,7 \cdot 10^{-7} 1 / \text{ч} \cdot \text{км}$$

- $\lambda_{\text{к2}}$ - интенсивность отказов одной строительной длины ОК из-за внутренних причин. $\lambda_{\text{к2}}$ рассчитывают, руководствуясь техническими условиями на ОК, согласно которым минимальная наработка на отказ одной строительной длины составляет 215000 часов. Приблизительно считают, что среднее значение (наработка на отказ) в 15 раз больше минимальной, откуда:

$$\lambda_{\text{к2}} = 1 / 215000 \cdot 15 = 3,1 \cdot 10^{-7} 1 / \text{ч.}$$

- $\lambda_{\text{нрп.к}}$ - интенсивность отказов одного НРП за счет внешних повреждений.

Согласно опыта эксплуатации отказ n_1 НРП из-за внешних повреждений составляет в среднем 0,6 на один пункт в год.

Отсюда получается:

$$\lambda_{\text{нрп.к}} = 0,006 / 8765 = 6,8 \cdot 10^{-6} 1 / \text{ч.}$$

Среднее время восстановления $T_{\text{влкс}}=10\text{ч.}$

Интенсивность отказов ЛКС

$$\lambda_{\text{лкс}} = \lambda_{\text{к1}} L + \lambda_{\text{к2}} n_{\text{сд}} + \lambda_{\text{нрп.к}} n_{\text{нрп}}$$

При расчете принято $L_{\text{сд}}=4\text{км}$. Далее рассчитывается $T_{\text{олкс}}$, $K_{\text{глкс}}$, $K_{\text{нлкс}}$

Расчет показателей надежности аппаратного комплекса производится исходя из числа мультиплексоров НРП на магистрали. Основу мультиплексора, в основном определяющим его надежность, составляют оптические передатчики и приемники

(оптический интерфейс). По опыту эксплуатации их надежность определяется средним временем наработки на отказ 45000 часов. Отсюда

$$\lambda_{\text{мл}} = 1/45000 = 2,22 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч.}$$

Далее по известным формулам рассчитываются $T_{\text{оа}}$, $K_{\text{гд}}$, и $K_{\text{па}}$. При расчете полагают, что время восстановления НРП $\leq 2,5$ ч., а мультиплексора – 0,5 часа.

Зная показатели надежности ЛКС аппаратного комплекса, рассчитывают результирующие показатели:

$$\lambda_{\text{м}} = \lambda_{\text{лкс}} + \lambda_{\text{д}}, \quad T_{\text{ом}} = 1/\lambda_{\text{м}}; \quad K_{\text{гм}} = 1 - K_{\text{нлкс}} - K_{\text{па}}.$$

Зная результирующую интенсивность отказов магистрали, производят расчет вероятности безотказной работы за периоды: сутки, квартал, полугодие, год.

На основе расчетов необходимо сделать выводы.

7. Расчет параметров качества участка проектируемой ВЗПС.

В данном разделе качество линии анализируется на примере функционирования основного цифрового канала (ОЦК).

Для заданного участка ВЗПС длиной L км необходимо рассчитать допустимые значения параметров качества передачи и ОЦК (параметры А, Б, и В) в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G-821. По полученным результатам рассчитать допустимое число секунд и минут с пониженным качеством, полагая, что время контроля равно одному месяцу.

В соответствии с рекомендациями G-821 для ОЦК вводятся три градации параметра качества:

А – при оценке в односторонних интервалах, не менее чем в 90% измерений должно быть не более четырех ошибок;

Б – при оценке в односторонних интервалах, не менее чем в 99,8% измерений должно быть не более 62 ошибок.

В – при оценке в односторонних интервалах, не менее чем в 92% измерений ошибки должны отсутствовать.

Для внутризоновой первичной сети передачи протяженностью 600 км нормы параметра качества ОЦК имеют следующие величины:

по параметру А – $K_A = 98,5\%$;

по параметру Б – $K_B = 99,7\%$;

по параметру В – $K_V = 98,8\%$.

Для расчета параметров качества K'_i для участка длиной L можно пользоваться выражением:

$$K'_i = 100 - \frac{(100 - K_i)}{600} \cdot L$$

На практике в качестве основного критерия оценки качества передачи по цифровым каналам и трактам чаще используется коэффициент ошибок $K_{\text{ош}}$.

Очевидно, процент времени в градациях А и Б можно отнести к одиночным ошибкам, а в градации В – к пакетам ошибок. Полагая равномерность распределения норм, соответствующих градации В между участками номинальной цепи можно

установить километрические нормы на относительное число односекундных интервалов, в которых будет содержаться хотя бы одна ошибка. Для ВЗПС:

$$K_{ош} = \frac{1 - 0,988}{600} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/км}$$

Для участка длиной L

$$K'_{ош} = K_{ош} \cdot L$$

После расчета K'_i и $K'_{ош}$ производится расчет числа минутных и секундных интервалов в месяц, соответствующих выбранному параметру. Расчет производится по формуле:

$$C_i = (1 - K'_i) \cdot N_i,$$

где

K'_i - параметр качества;

N_i - число минут или секунд в месяце. При расчете полагать, что в одном месяце $N_{сек} = 2,6 \cdot 10^6$, $N_{мин} = 43,2 \cdot 10^3$.

Расчет по параметру А относят к минутным интервалам, а по параметрам Б и В - к секундным.

Вопросы для собеседования

1. Перечислите основные задачи, решаемые при проектировании ВОЛП, раскройте их содержание.
2. Как определяются информационные потоки в региональных сетях.
3. Как выбираются маршруты потоков в сетях.
4. Как определяется суммарная нагрузка на отдельных участках сети.
5. Изложите алгоритм определения пропускной способности ВОЛП.
6. Принципы построения схемы организации связи, выбор топологии сети.
7. Изложите основные соображения по выбору типа аппаратуры ВОЛП.
8. Опишите принцип распределение компонентных потоков.
9. Изложите основные соображения по выбору типа оптического кабеля.
10. Классификация оптических секций. Сущность рекомендаций МСЭ-Т G/957 и G.958.
11. Структурная схема оптического линейного тракта ЦВОСП. Назначение элементов и требования к ним.
12. Изложите основные соображения по выбору типа оптической секции.
13. Алгоритм расчета параметров оптических секций.
14. От чего зависит длина регенерационного участка ЦВОСП.
15. Алгоритм расчета распределения энергетического потенциала ЦВОСП по длине регенерационного участка.
16. Алгоритм расчета длины усилительного участка ВОСП-СР.
17. Расчетная схема для определения длины усилительного участка. Основные элементы и требования к ним. От чего зависит длина усилительного участка (ЭКУ)?
18. Алгоритм расчета допустимой дисперсии регенерационного (усилительного) участка.

19. Принципы построения диаграммы уровней ВОЛП.
20. Как определяются показатели надёжности в ЦВОСП?

Литература

1. В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов. Цифровые системы передач. М.Горячая линия – Телеком, 2007 г.
2. Е.Б. Алексеев, В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. М.Горячая линия – Телеком, 2008 г.
3. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине ЦСП. СКФ МТУСИ, Ростов-на-Дону, 2009 г.
4. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине ЦСП под ред. Михалина И.С. СКФ МТУСИ, Ростов-на-Дону, 2010 г.
5. Кулева Н.Н. Оптические интерфейсы транспортных сетей SDH и OTN: учебное пособие/ Н.Н. Кулева, Е. Л. Федорова. СПбГУТ. - 2009 г.

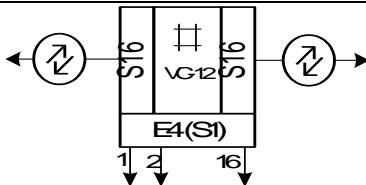
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Условные обозначения на схемах организации связи с использованием систем передачи синхронной цифровой иерархии (SDH)

| Наименование | Обозначение сооружений и устройств |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Интерфейсы 1) 2 Мбит/с 2) 34 Мбит/с 3) 140 Мбит/с 4) STM-1 5) STM-4 6) STM-16 7) STM-64 | E1 E3 E4 S1 S4 S16 S64 |
| Оконечный пункт линии передачи (ЛП) с аппаратурой SDH 1) ВОСП 155 Мбит/с (STM-1) а) с окончанием на 1 тракт 140, Мбит/с | <p>The diagram shows a rectangular block divided into three sections. The left section is labeled 'E4' and has a single output arrow pointing left. The middle section is empty. The right section is labeled 'S1' and has a single output arrow pointing right, which terminates in a circle containing a zigzag line representing an optical fiber.</p> |
| б) с окончанием на 63 тракта 2Мбит/с | <p>The diagram shows a rectangular block divided into three sections. The left section is labeled 'E1' and has 63 output arrows pointing left, numbered 1 to 63. The middle section is empty. The right section is labeled 'S1' and has a single output arrow pointing right, which terminates in a circle containing a zigzag line representing an optical fiber.</p> |
| в) с окончанием на 3 тракта 34 Мбит/с | <p>The diagram shows a rectangular block divided into three sections. The left section is labeled 'E3' and has 3 output arrows pointing left, numbered 1 to 3. The middle section is empty. The right section is labeled 'S1' and has a single output arrow pointing right, which terminates in a circle containing a zigzag line representing an optical fiber.</p> |
| г) с комбинированным окончанием на 42 тракта 2 Мбит/с и 1 тракт 34 Мбит/с | <p>The diagram shows a rectangular block divided into three sections. The left section is divided into two parts: the top part is labeled 'E1' and has 42 output arrows pointing left, numbered 1 to 42; the bottom part is labeled 'E3' and has 1 output arrow pointing left, numbered 1. The middle section is empty. The right section is labeled 'S1' and has a single output arrow pointing right, which terminates in a circle containing a zigzag line representing an optical fiber.</p> |
| 2) ВОСП 622 Мбит/с (STM-4) а) с окончанием на 4 тракта STM-1 или 4 тракта 140 Мбит/с | <p>The diagram shows a rectangular block divided into three sections. The left section is labeled 'S1 (E4)' and has 4 output arrows pointing left, numbered 1 to 4. The middle section is empty. The right section is labeled 'S4' and has a single output arrow pointing right, which terminates in a circle containing a zigzag line representing an optical fiber.</p> |
| б) с окончанием на 126 трактов 2 Мбит/с и 6 трактов 34 Мбит/с | <p>The diagram shows a rectangular block divided into three sections. The left section is divided into two parts: the top part is labeled 'E1' and has 126 output arrows pointing left, numbered 1 to 126; the bottom part is labeled 'E3' and has 6 output arrows pointing left, numbered 1 to 6. The middle section is empty. The right section is labeled 'S4' and has a single output arrow pointing right, which terminates in a circle containing a zigzag line representing an optical fiber.</p> |
| в) с комбинированным окончанием на 2 тракта STM-1 и 126 трактов 2 Мбит/с или 6 трактов 34 Мбит/с | <p>The diagram shows a rectangular block divided into three sections. The left section is divided into two parts: the top part is labeled 'S1 (1)' and has 2 output arrows pointing left, numbered 1 to 2; the bottom part is labeled 'E3' and has 126 output arrows pointing left, numbered 1 to 126. The middle section is empty. The right section is labeled 'S4' and has a single output arrow pointing right, which terminates in a circle containing a zigzag line representing an optical fiber.</p> |

| Наименование | Обозначение сооружений и устройств |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| г) с комбинированным окончанием на 2 тракта 140 Мбит/с и 126 трактов 2 Мбит/с или 6 трактов 34 Мбит/с | |
| 3) ВОСП 2,5 Гбит/с (STM-16) с окончанием на 16 трактов STM-1 или 16 трактов 140 Мбит/с | |
| 4) Оконечный пункт ЛП с аппаратурой СП СЦИ (ВОСП 155 Мбит/с, 622 Мбит/с, 2,5 Гбит/с) с резервированием по схеме 1 + 1 или 1 : 1 | |
| 3 Промежуточный пункт ЛП с аппаратурой SDH 1) ВОСП 155 Мбит/с а) с вводом/выводом 1 тракта STM-1 | |
| б) с вводом/выводом 63 трактов 2 Мбит/с | |
| в) с вводом/выводом 3 трактов 34 Мбит/с | |
| г) с вводом/выводом трактов 2 бит/с, 34 Мбит/с с кросс-коммутацией на уровне VC-12 | |
| д) регенератор | |

| Наименование | Обозначение сооружений и устройств |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 2) ВОСП 622 Мбит/с а) с вводом/выводом 4 трактов 140 Мбит/с или STM-1 | |
| б) с вводом/выводом 126 трактов 2 Мбит/с или 6 трактов 34 Мбит/с | |
| в) с вводом/выводом 2 трактов STM-1 или 140 Мбит/с и 126 трактов 2 Мбит/с | |
| г) с вводом/выводом 2 трактов STM-1 или 140 Мбит/с и 6 трактов 34 Мбит/с | |
| д) с вводом/выводом трактов 2 Мбит/с, 34 Мбит/с с кросс-коммутацией на уровне VC-12 | |
| е) с вводом/выводом трактов 140 Мбит/с, STM-1 с кросс-коммутацией на уровне VC-12 | |
| ж) с вводом/выводом трактов 140 Мбит/с, STM-1 с кросс-коммутацией на уровне VC-4 | |
| з) регенератор | |
| 3)ВОСП 155 Мбит/с/622 Мбит/с/ (STM-1/STM-4) с вводом/выводом трактов 2 Мбит/с, 34 Мбит/с, 140 Мбит/с, STM-1 | |
| 5) ВОСП 2,5 Гбит/с а) с вводом/выводом 16 трактов 140 Мбит/с или 16 трактов STM-1 или их комбинаций | |

| Наименование | Обозначение сооружений и устройств |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| б) с вводом/выводом трактов 140 Мбит/с, STM-1 с кросс-коммутацией на уровне VC-12 |  |

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Параметры оптических интерфейсов STM-1

Таблица 1-П2

| Наименование параметра | Значение | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----|-------------------|---------------|---------------|-----------|---------|---------------|---------------------------------|---------------|
| Код применения | I-1 | | S-1.1 | S-1.2 | | L-1.1 | | L-1.2 | L-1.3 | |
| Рабочий диапазон длин волн, нм | 1260 - 1360 | | 1261 - 1360 | 1430- 1576 | 1430- 1580 | 1280-1335 | | 1480- 1580 | 1534- 1566/ 1523- 1577 | 1480- 1580 |
| Параметры передатчика в эталонной точке S | | | | | | | | | | |
| Тип источника | MLM | LED | MLM | SLM | SLM | MLM | SLM | SLM | MLM | SLM |
| Макс. среднеквадратическая ширина спектра излучения Δλ, нм | 40 | 80 | 7,7 | 2,3 | — | 4 | — | — | 3/2,5 | — |
| Макс. ширина спектра на уровне – 20 дБ, нм | — | — | — | — | 1 | — | 1 | 1 | — | 1 |
| Уровень излучаемой мощности Р _{пер макс} , дБм Р _{пер мин} , дБм | — 8 — 15 | | — 8 — 15 | | — 8 — 15 | | 0 —5 | 0 —5 | | 0 —5 |
| Параметры оптического тракта между точками S и R | | | | | | | | | | |
| Диапазон допустимых затуханий, А _{мин} -А _{макс} дБ | 0-7 | | 0-12 | 0-12 | | 10-28 | | 10-28 | 10-28 | |
| Максимальная дисперсия, пс/нм | 18 | 25 | 96 | 296 | н/о | 185 | н/о | н/о | 245/296 | н/о |
| Параметры приемника в эталонной точке R | | | | | | | | | | |
| Максимальная чувствительность или Р _{пр мин} , дБм | —23 | | —28 | —28 | | —34 | | —34 | —34 | |
| Минимальная перегрузка или Р _{пр макс} , дБм | —8 | | —8 | —8 | | —10 | | —10 | —10 | |
| Максимальный энергетический запас оптического тракта или ΔЭ, дБ | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | |

Параметры систем передачи SDH уровня STM-1

Таблица 2-П2

| Параметры | Тип оборудования и производитель | | | | | |
|-----------------------|----------------------------------|------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| | SMS-150 NEC | SMA-1 Siemens | 1641 SM Alcatel | AXD155 -2 Ericsson | TN-1X/S Nortel | FLX-150 Fujitsu |
| Уровень передачи, дБм | -5...0 | -4...0 | -15...0 | -15...0 | -15...0 | -15...0 |
| Длина волны, нм | 1310/1550 | | | | | |
| Чувствительность | -34 | -34...-28 | -38...-28 | -34 | -34 | -34...-28 |

| | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| приемника ($P_{\text{пр мин}}$) при $K_{\text{ош}} = 10^{-10}$, дБм | | | | | | |
| Затухание регенерационного участка: $A_{\text{мин}}, A_{\text{макс}}$, дБ | 0...28 | 0...28 | 0...33 | 0...28 | 0...28 | 0...30 |
| Дисперсия $\sigma_{\text{п}}$, пс/нм | 350...25 00 | 350...25 00 | 90...250 0 | 100...50 00 | 250...35 0 | 250...25 00 |
| Тип источника излучения | MLM SLM | FP DFB | MLM SLM | FP DFB | FP | FP MLM |
| Тип оптического детектора | APD (Лавинный фотодиод) | | | | | |

Параметры оптических интерфейсов STM-4

Таблица 3-П2

| Наименование параметра | Значение | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------|-----|-------------------------|-----------|-------------------------|-------|-----------|-------------|
| Код применения | I-4 | | S-4.1 | S-4.2 | L-4.1 | | L-4.2 | L-4.3 |
| Рабочий диапазон длин волн, нм | 1261 - 1360 | | 1293-1334/ 1274-1356 | 1430-1580 | 1280-1335/ 1296-1330 | 1280 | 1480-1580 | 1480 - 1580 |
| Параметры передатчика в эталонной точке S | | | | | | | | |
| Тип источника | MLM | LED | MLM | SLM | MLM | SLM | SLM | SLM |
| Макс. среднеквадратическая ширина спектра излучения $\Delta\lambda$, нм | 14.3 | 35 | 4/2.5 | – | 2.0/1.7 | – | – | – |
| Макс. ширина спектра на уровне – 20 дБ, нм | – | – | – | 1 | – | 1 | <1 | 1 |
| Уровень излучаемой мощности | | | | | | | | |
| $P_{\text{пер макс}}$, дБм | – 8 | | – 8 | – 8 | +2 | | +2 | +2 |
| $P_{\text{пер мин}}$, дБм | – 15 | | – 15 | – 15 | –3 | | –3 | –3 |
| Параметры оптического тракта между точками S и R | | | | | | | | |
| Диапазон допустимых затуханий, $A_{\text{мин}}-A_{\text{макс}}$ дБ | 0-7 | | 0-12 | 0-12 | 10-24 | 10-24 | 10-24 | |
| Максимальная дисперсия, пс/нм | 13 | 14 | 46/74 | н/о | 92/109 | н/о | но | н/о |
| Параметры приемника в эталонной точке R | | | | | | | | |
| Максимальная чувствительность или $P_{\text{пр мин}}$, | –23 | | –28 | –28 | –28 | –28 | –28 | |

| | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| дБм | | | | | | |
| Минимальная перегрузка или $P_{\text{пр макс}}$, дБм | -8 | -8 | -8 | -8 | -8 | -8 |
| Максимальный энергетический запас оптического тракта или $\Delta\mathcal{E}$, дБ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Параметры систем передачи SDH уровня STM-4

Таблица 4-П2

| Параметры | Тип оборудования и производитель | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| | SMS-150 NEC | SMA-1 Siemens | 1651 SM Alcatel | AXD155 -2 Ericsson | TN-1X/S Nortel | FLX-150 Fujitsu |
| Уровень передачи, дБм | -3...+5 | -15...+2 | -15...+2 | -15...+2 | -3...+2 | 0...+2 |
| Длина волны, нм | 1310/1550 | | | | | |
| Чувствительность приемника ($P_{\text{пр мин}}$) при $K_{\text{ош}} = 10^{-10}$, дБм | -32.5 | -36...-34 | -28 | -30...0 | -34...32 | -28 |
| Затухание регенерационного участка: $A_{\text{мин}}$, $A_{\text{макс}}$, дБ | 10...28 | 0...32 | 10...30 | 0...30 | 8...30 | 10...24 |
| Дисперсия, $\sigma_{\text{п}}$, пс/нм | 1570 | 130...40 00 | 300...30 00 | 100...50 00 | 250...35 00 | 350 |
| Тип источника излучения | MLM SLM | FP DFB | MLM SLM | FP DFB | FP | FP MLM |
| Тип оптического детектора | APD (лавинный фотодиод) | | | | | |

Параметры оптических интерфейсов STM-16

Таблица 5-П2

| Параметр | Значение параметра | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Код применения | I-16 | S-16.1 | S-16.2 | L-16.1 | L-16.2 | L-16.3 |
| Рабочий диапазон длин волн, нм | 1266-1360 | 1250-1360 | 1430-1580 | 1280-1335 | 1500-1580 | 1500-1580 |
| Параметры передатчика в эталонной точке S | | | | | | |
| Тип источника | MLM | SLM | SLM | SLM | SLM | SLM |
| Макс. среднеквадратическая ширина спектра излучения $\Delta\lambda$, нм | 4 | — | — | — | — | — |
| Макс. ширина спектра на уровне - 20 дБ, нм | — | 1 | <1 | 1 | <1 | <1 |

| | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|
| Уровень излучаемой мощности $P_{\text{пер макс, дБм}}$ $P_{\text{пер мин, дБм}}$ | - 8 - 15 | - 8 - 15 | - 8 - 15 | +2 -3 | +2 -3 | +2 -3 |
| Параметры оптического тракта между точками S и R | | | | | | |
| Диапазон допустимых затуханий, $A_{\text{мин-}}$ $A_{\text{макс дБ}}$ Максимальная дисперсия, пс/нм | 0-7 | 0-12 | 0-12 | 10-24 | 10-24 | 10-24 |
| | | 46/74 | н/о | 92/109 | н/о | н/о/о |
| Параметры приемника в эталонной точке R | | | | | | |
| Максимальная чувствительность или $P_{\text{пр мин, дБм}}$ | -18 | -18 | -18 | -27 | -28 | -27 |
| Максимальный энергетический запас оптического тракта или $\Delta\mathcal{E}_3$, дБ | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |

Параметры систем передачи SDH уровня STM-16

Таблица 6-П2

| Параметры | Тип оборудования и производитель | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------------|
| | SMA-16 Siemens | 1664 SM Alcatel | TN-16X Nortel |
| Уровень передачи, дБм | -3...+2. | -3...+2 | 0...+2 |
| Длина волны, нм | 1310/1550 | | |
| Чувствительность приемника ($P_{\text{пр мин}}$) при $K_{\text{ош}} = 10^{-10}$, дБм | -29...-36 | -29,5...27 | -28...-26,5 |
| Затухание регенерационного участка: $A_{\text{мин}}, A_{\text{макс}}$, дБ | 0...27,5 | 0...27 | 20,5...41,7 |
| Уровень перегрузки приемника ($P_{\text{пр мин}}$) | -6 | -4 | -10 |
| Дисперсия σ_p , пс/нм | 130...4000 | 300...3000 | 250...3500 |
| Тип источника излучения | DFB | DFB | SLM, DFB |
| Тип оптического детектора | APD (Лавинный фотодиод) | | |

Параметры оптических стыков STM-16 (с оптическими усилителями) Таблица 7-П2

| Код применения | V-16.2 ¹⁾ | V-16.2 ²⁾ | V-16.3 ¹⁾ | V-16.3 ²⁾ | U-16.2 | U-16.3 |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Наименование параметров | Значение параметров | | | | | |
| рабочий диапазон длин волн, нм; | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 |
| уровень излучаемой мощности: максимальный, дБм; минимальный, дБм; | 13 10 | 4 1 | 13 10 | 4 1 | 15 12 | 15 12 |

| | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ширина спектра на уровне -20дБ, не более, нм; | 1.0 | 0,5- | 0,5 | 0,5 | 0.5 | 0,5 |
| диапазон перекрываемого | 22-33 | 22-33 | 22-33 | 22-33 | 33-44 | 33-44 |
| суммарная поляризационная модовая дисперсия, не более, пс; | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| уровень чувствительности, не более, дБм; | -24 | -34 | -24 | -33 | -34 | -33 |
| уровень перегрузки, не | -9 | -18 | -9 | -18 | -18 | -18 |
| дополнительные потери оптического тракта, не более, дБ; | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| ¹⁾ При применении только ОУ ₁ | | | | | | |
| При любых сочетаниях значений параметров оптических стыков для различных кодов применения коэффициент ошибок в тракте должен быть не более 1×10^{-12} | | | | | | |

Параметры оптических стыков STM-64 (с оптическими усилителями)

Таблица 8-П2

| Код применения | S-64.1 | S-64.2 | S-64.3 | L-64.2a ^{1,2)} | L-64.26 ^{1,3)} |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------------------------|-------------------------|
| Наименование параметров | Значение параметров | | | | |
| рабочий диапазон длин волн, нм; | 1290-1330 | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 |
| уровень излучаемой мощности: | | | | | |
| максимальный, дБм; | 2 | 2 | 2 | 1 | 13 |
| минимальный, дБм; | -1 | -1 | -1 | -2 | 10 |
| ширина спектра на уровне -20 дБ, не более, нм; | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 0.5 |
| диапазон перекрываемого затухания, дБ; | 5-11 | 5-11 | 5-11 | 10-22 | 16-22 |
| хроматическая дисперсия, не более, пс/нм; | 70 | 800 | 130 | 1600 | 1600 |
| суммарная поляризационная модовая дисперсия, не более, пс; | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| уровень чувствительности, не более, дБм; | -13 | -14 | 13 | -26 | -14 |
| уровень перегрузки, не менее, дБм; | -3 | -3 | -3 | -9 | -3 |
| дополнительные потери оптического тракта, не более, дБ; | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| ¹⁾ Для уменьшения дисперсии в оптическом тракте используют для кода применения Д-64.2а пассивный компенсатор дисперсии или принудительное импульсное смещение центральной частоты, а для кода применения Д-64.26 - самомодуляцию фазы | | | | | |
| ²⁾ При применении только ОУ ₂ | | | | | |
| При любых сочетаниях значений параметров оптических стыков для различных кодов применения коэффициент ошибок в тракте должен быть не более 1×10^{-12} | | | | | |

Параметры оптических стыков STM-64 (с оптическими усилителями)

Таблица 9-П2

| Код применения | L-64.3 ²⁾ | L-64.3 ³⁾ | V-64.2a ¹⁾ | V-64.26 ¹⁾ | V-64.3 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| Наименование параметров | Значение параметров | | | | |
| рабочий диапазон длин волн, нм; | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 | 1530-1565 |
| уровень излучаемой мощности: | | | | | |
| максимальный, дБм; | 1 | 13 | 13 | 15 | 13 |
| минимальный, дБм; | -2 | 10 | 10 | 12 | 10 |
| ширина спектра на уровне -20дБ, не более, нм; | 0.5 | 0,5 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| диапазон перекрываемого затухания, дБ; | 10-22 | 16-22 | 22-33 | 22-33 | 22-33 |
| хроматическая дисперсия, не более, пс/нм; | 1600 | 260 | 2400 | 2400 | 400 |
| суммарная поляризационная модовая дисперсия, не более, пс; | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| уровень чувствительности, не более, дБм; | -26 | -13 | -25 | -23 | -24 |
| уровень перегрузки не менее, дБм; | -9 | -3 | -9 | -7 | -9 |
| дополнительные потери оптического траста, не более, дБ; | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| ¹⁾ Для уменьшения дисперсии в оптическом тракте используют для кода применения 0-64.2a пассивный компенсатор дисперсии, а для кода применения 0-64.26 - самомодуляцию фазы ²⁾ При применении только ОУ ₂ ³⁾ При применении только ОУ ₁ | | | | | |
| При любых сочетаниях значений параметров оптических стыков для различных кодов применения коэффициент ошибок в тракте должен быть не более 1×10^{-12} | | | | | |

Параметры оптического стыка в точке Пд1

Таблица 10 - П2

| Скорость передачи цифрового сигнала | ≤622 | 2500 | 10000 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------|-------|
| Наименование параметров | Значение параметров | | |
| 1. Уровень выходной мощности: | | | |
| максимальный, дБм | +3.0 | +3.0 | +3.0 |
| минимальный, дБм | -5.0 | -5.0 | -5.0 |
| 2. Ширина спектра на уровне -20 дБ при расстоянии между оптическими каналами | | | |
| ≥2000 ГГц, не более, ГГц | 14.0 | 20.0 | 40.0 |
| 100 ГГц, не более, ГГц | 14.0 | 20.0 | 40.0 |
| 50 ГГц, не более, ГГц | 14.0 | 20.0 | 30.0 |
| 3. Коэффициент гашения, не менее, Дб | 8.2 | 8.2 | 8.2 |
| 4. Коэффициент подавления боковой моды, не менее, дБ | 30.0 | 30.0 | 30.0 |
| 5. Отклонение центральной частоты оптического канала при расстоянии между оптическими каналами: | | | |

| | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| ≥2000 ГГц, не более, ГГц | ±20.0 | ±20.0 | ±20.0 |
| 100 ГГц, не более, ГГц | ±10.0 | ±10.0 | ±10.0 |
| 50 ГГц, не более, ГГц | ±10.0 | ±10.0 | ±5.0 |
| 6. Затухание отражение, не менее, дБ | 24.0 | 24.0 | 24.0 |

Параметры оптического стыка в точке При

Таблица 11-П2

| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------|------|-------|
| Скорость передачи цифрового канала, Мбит/с | £622 | 2500 | 10000 |
| Наименование параметров | Значение параметров | | |
| 1. Уровень чувствительности при $K_{\text{ош}}=10^{-12}$, не более, дБм | -23 | -15 | -12 |
| 2. Уровень перегрузки при $K_{\text{ош}}=10^{-12}$ не менее, дБм | -8 | 0 | 0 |
| 3. Коэффициент отражения приемника, не более, дБ | -27 | -27 | -27 |

Параметры оптических стыков в точках ГПд(МР1-5) и Пд'(5')

Таблица 12- П2

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------|
| Точка нормирования | ГПд(МР1-8) | ПдЧ8') |
| Наименование параметров | Значение параметров , | |
| 1. Уровень суммарной мощности, не более, дБм | +27,0 | +27.0 |
| 2. Уровень мощности на один оптический канал, не более, дБм | +20.0 | +20.0 |
| 3. Максимум различия уровней мощности в оптических каналах, не более, дБм | 2.0 | 2.0 |
| 4. Оптическая переходная помеха между оптическими каналами, не более, дБ | -30.0 | |
| 5. Отношение оптических сигнал/шум в оптическом канале, не менее, дБ | 20.0 | 20.0 |

Параметры оптических стыков в точках ГПр(МР1-Р) и Пр'(Р')

Таблица 13- П2

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|
| Точка нормирования | ГПр(МР1-Р) | Пр'(Р') |
| Наименование параметров | Значение параметров | |
| 1. Уровень суммарной мощности, не более, дБм | +1,0 | +10,0 |
| 2. Уровень мощности на один оптический канал, не более, дБм минимальный, дБм максимальный, дБм | -36.0 -15,0 | -36,0 - 15.0 |
| 3. Максимум различия уровней мощности в оптических каналах, не более, дБм | 2,0 | 2,0 |
| 4. Оптическая переходная помеха между оптическими каналами, не более, дБ | -27.0 | |
| 5. Отношение оптических сигнал/шум в оптическом канале, не менее, дБ | 18,0 | 18,0 |

Параметры оптических усилителей

Таблица 14- П2

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|---------------|
| Наименование параметров | Значение параметров | | |
| | ОУПд | ОПУ | ОУПр |
| 1. Уровень входной суммарной мощности. дБм: минимальный максимальный | -17,5 +16,0 | -36.0 +10.0 | -36,0 +1,0 |

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| 2. Уровень выходной суммарной мощности. дБм: минимальный максимальный | +3,5 +27.0 | +3.5 +27.0 | -10,0 +17,0 |
| 3. Коэффициент усиления, дБм: минимальный максимальный | 14,0 28.0 | 15,0 41.0 | 10. 33,0 |
| 4. Неравномерность коэффициента усиления в заданном диапазоне рабочих длин волн, не более, | 2.0 | 2,0 | 3.0 |
| 5. Коэффициент шума в заданном диапазоне рабочих длин волн (при минимальном суммарном уровне выходной мощности), не более, дБ | 7,0 | 7.0 | 6,0 |
| 6. Коэффициент отражения на входе и выходе, не более, дБ | -30.0 | 730.0 | -30.0 |

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Параметры оптического волокна

Таблица 1-ПЗ

| Параметры волокна | Длина волны излучения, нм | Рекомендации МСЭ-Т | | |
|-----------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | G.952 | G.963 | G.954 |
| Километрическое затухание, дБ/км | 1310 | < 1,0 (0,3...0,4) | Не используется | |
| | 1550 | < 0,5 (0,15...0,25) | < 0,5 (0,19...0,25) | < 0,22 (0,15...0,19) |
| Хроматическая дисперсия, нс/нм·км | 1310 | 3,5...5,3 | Не используется | |
| | 1550 | – 20 | 3,3 | – 20 |

Параметры оптических кабелей

Производитель: ЗАО «Самарская оптическая кабельная компания – СОКК» Таблица 2-ПЗ

| Тип кабеля | Параметры кабеля | | |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|
| | Длина волны λ , мкм | Коэффициент затухания α , дБ/км | Дисперсия σ , пс/нм·км |
| ОКЛ-01 (02), ОКЛК-01 (02), ОКЛСт-01 (02), ОКГТ-МТ, ОКЛЖ | 1,31 | 0,36 | 3,5 |
| | 1,55 | 0,22 | 18 |

Производитель: ЗАО «Севкабель–Оптика»

Таблица 3-ПЗ

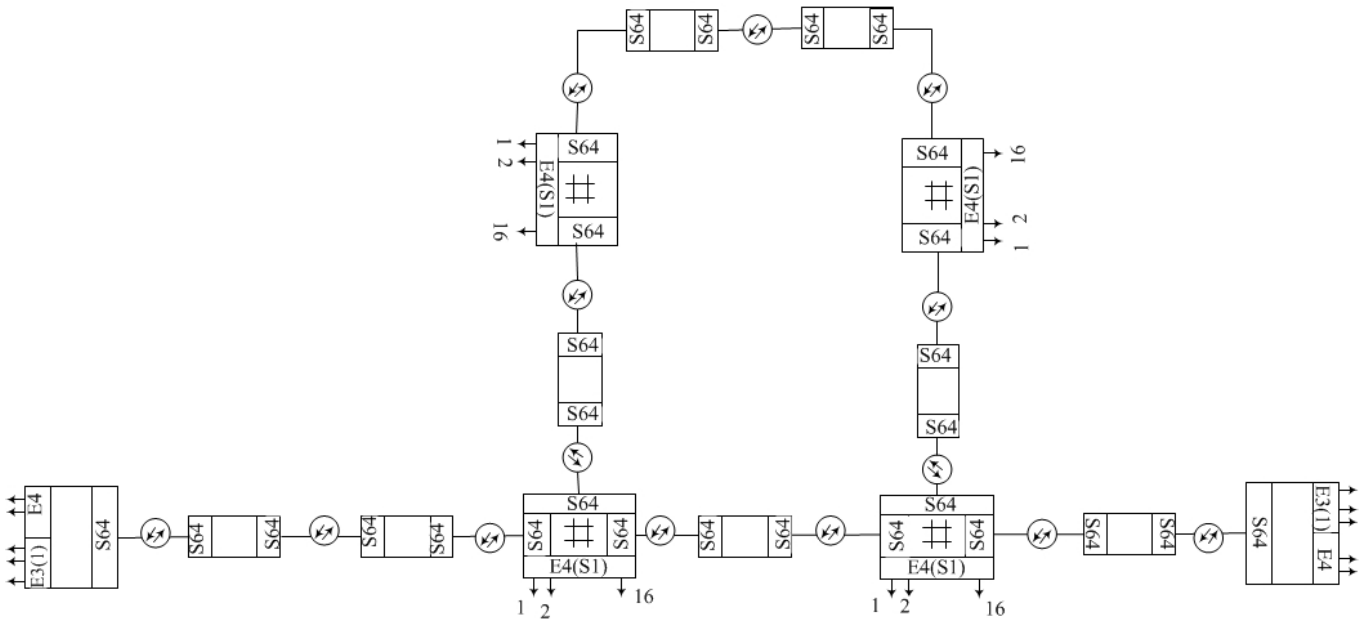
| Тип кабеля | Параметры одномодового ОВ | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|
| | Длина волны λ , мкм | Коэффициент затухания α , дБ/км | Дисперсия σ , пс/нм·км |
| ДПО, ДАО, СПО, ДВО, САО, ДПЛ, ДАЛ, СПЛ, САЛ, ТОС, ДПС, СПУ, СПС, САС, ДПУ, ДАУ, ДПД, ДПМ, ДПГ, ДПК, ДП2, ДА2, ДНО, ДПН, ДПТ, ДПР | 1,31 | 0,36 | 3,5 |
| | 1,55 | 0,22 | 18 |
| | Параметры многомодового ОВ | | |

| | | | |
|--|-----------------------------|----------------------------------------|--------------------------|
| | Длина волны λ , мкм | Коэффициент затухания α , дБ/км | Широкополосность, МГц/км |
| | 1,31 | 0,7 | 500 |

Параметры интерфейсов оптических секций

Таблица 4-ПЗ

| Длина волны, нм | Тип | Уровни STM | Внутристанционная | Межстанционная | | | |
|-----------------|-----|------------|-------------------|----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| | | | | Короткая (S) | Длинная (L) | Очень длинная (V) | Сверх длинная (U) |
| 1310 | 1 | STM-1 | I-1 | S-1.1 | L-1.1 | — | — |
| | | STM-4 | I-4 | S-4.1 | L-4.1 | — | — |
| | | STM-16 | I-16 | S-16.1 | L-16.1 | — | — |
| | | STM-64 | — | S-64.1 | L-64.1 | — | — |
| 1550 | 1 | STM-1 | — | S-1.2 | L-1.2 | — | — |
| | | STM-4 | — | S-4.2 | L-4.2 | V-4.2 | U-4.2 |
| | | STM-16 | — | S-16.2 | L-16.2 | V-16.2 | U-16.2 |
| | | STM-64 | — | S-64.2 | L-64.2 | V-64.2 | — |
| 1550 | 2 | STM-1 | — | — | L-1.3 | — | — |
| | | STM-4 | — | — | L-4.3 | V-4.3 | U-4.3 |
| | | STM-16 | — | — | L-16.3 | V-16.3 | U-16.3 |
| | | STM-64 | — | — | L-64.3 | V-64.3 | — |
| | 3 | STM-1 | — | — | L-1.2 | — | — |
| | | STM-4 | — | — | L-4.2 | — | — |
| | | STM-16 | — | — | L-16.2 | — | — |
| | | | | | | | |



Пример схемы организации связи.