

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
для практических занятий  
по дисциплине «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ»  
для студентов направления подготовки  
11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
Направленность (профиль)  
«Технологии построения программно-управляемых систем и компьютерных сетей»

Ставрополь  
2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                                         | 4  |
| 1. Основы построения оптических систем передачи.....                                                   | 8  |
| 2. Мультиплексирование в оптических системах передачи .....                                            | 12 |
| 3. Источники оптического излучения для систем передачи .....                                           | 14 |
| 4. Модуляция излучения источников электромагнитных волн<br>оптического диапазона .....                 | 17 |
| 5. Фотоприемники для оптических систем передачи.....                                                   | 19 |
| 6. Фотоприемные устройства оптических систем передачи.....                                             | 21 |
| 7. Оптические усилители для оптических систем передачи .....                                           | 24 |
| 8. Линейные тракты оптических систем передачи.....                                                     | 26 |
| 9. Оптические компоненты для систем передачи и оптических сетей ..                                     | 31 |
| 10. Волоконно-оптические системы с солитонной передачей и<br>нанопотонные технологии .....             | 33 |
| Заключение .....                                                                                       | 34 |
| Приложение 1. Характеристики оптических интерфейсов SDH.....                                           | 35 |
| Приложение 2. Характеристики оптических интерфейсов G.695.....                                         | 44 |
| Приложение 3. Характеристики одноканальных оптических интерфейсов<br>G.698.1 .....                     | 52 |
| Приложение 4. Характеристики оптических интерфейсов стандарта<br>G.959.1 для сетей OTN-OTN и SDH ..... | 56 |
| Список учебной литературы, рекомендуемой для выполнения<br>контрольного задания и решения задач.....   | 57 |

## ВВЕДЕНИЕ

Студентам рекомендуется внимательно ознакомиться с программой, ответить письменно на контрольные вопросы, используя указанную литературу и конспект лекций, решить задачи по индивидуальным вариантам и обязательно сделать выводы.

На вопросы, приведенные в отдельных разделах, *следует отвечать кратко, по существу*. При решении контрольных задач следует сопровождать расчеты краткими *пояснениями, выводами и оценками*. Кроме того, все решения должны четко обозначаться соответствующими единицами измерений. Например, частота – Гц, расстояние – м или км, потери мощности – дБ, уровень мощности – дБм, дисперсия одномодового волокна – пс/(нм·км), дисперсия поляризованной моды пс/√км, полоса пропускания оптического волокна, нормированная по длине линии – МГц·км, длина волны излучения – мкм или нм и т.д.

При ответе на вопросы и решении контрольных задач рекомендуется использовать графические пояснения. Рисунки следует оформлять согласно существующим стандартам. Для ответа на вопросы и решения конкретных задач можно использовать конспект лекций и рекомендованные учебные издания. Также рекомендуется использовать периодические научно-технические издания (журналы «Электросвязь», «Вестник связи», «Технологии и средства связи», «Фотон-Экспресс», «Lightwave Russian Edition» и другие, в том числе издания Интернет) и издания, которые могут выйти в печати после опубликования этих учебных материалов.

**Обратите внимание!** При решении задач с №1 по №8 необходимо учитывать временные коэффициенты, которые соответствуют году выполнения задания (табл. В1).

Таблица В1

Поправочные коэффициенты к задачам

| Год выполнения                | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Временной коэффициент, $\psi$ | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |

## 1. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

*Изучите конспект, учебную литературу [1, 2, 3, 4, 7, 8, 16, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы:*

1. Что принято понимать под волоконно-оптической системой передачи?
2. Какой диапазон электромагнитных волн (частот) получил наибольшее применение в оптических системах передачи?
3. Какой физический смысл у показателя преломления?
4. Какие характеристики имеют стекловолокна?
5. Какие оптические диапазоны определены для улучшенных волокон стандарта G.652?
6. Чем принципиально отличаются волокна SMF и NZDSF?
7. В чем физический смысл «запрещённой зоны» полупроводниковых материалов?
8. Почему соединение GaAs может использоваться для изготовления источников и приёмников оптического излучения ВОСП?
9. Чем отличаются прямозонные и непрямозонные материалы?
10. Какие функции может выполнять р-п переход в оптических приборах при прямом и обратном смещении?
11. Какие устройства могут входить в состав ВОСП?
12. Какие функции выполняет оптический конвертор ВОСП?

### Задача 1

Определить затухание, дисперсию, полосу пропускания и максимальную скорость передачи двоичных импульсов в волоконно-оптической системе с длиной секции  $L$  (км), с километрическим затуханием  $\alpha$  (дБ/км) на длине волны излучения передатчика  $\lambda_0$  (мкм), ширине спектра излучения  $\Delta\lambda_{0,5}$  на уровне половины максимальной мощности излучения. Определить расстояние, на котором хроматическая дисперсия сравнивается с поляризационной модовой дисперсией (ПМД) в указанном по варианту типе волокна. Данные для задачи приведены в табл.1.1 и 1.2. Определить мощность оптического излучения в волокне на выходе секции, если на входе подключен оптический генератор с уровнем мощности 0 дБм на заданной длине волны  $\lambda_0$ .

Таблица 1.1

| Параметр                    | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |    |     |     |    |    |    |     |     |     |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|
|                             | 0                                               | 1  | 2   | 3   | 4  | 5  | 6  | 7   | 8   | 9   |
| Длина оптической секции, км | 42                                              | 96 | 104 | 127 | 67 | 85 | 74 | 133 | 119 | 135 |

Таблица 1.2

| Параметр                                                         | Последняя цифра номера студенческого билета |      |        |      |      |           |      |        |           |      |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------|--------|------|------|-----------|------|--------|-----------|------|
|                                                                  | 0                                           | 1    | 2      | 3    | 4    | 5         | 6    | 7      | 8         | 9    |
| Тип волокна                                                      | SF                                          | DSF  | SMF-LS | SF   | DSF  | True Wave | LEAF | SMF-LS | True Wave | LEAF |
| Коэфф. затухания $\alpha$ , дБ/км                                | 0,35                                        | 0,28 | 0,26   | 0,25 | 0,3  | 0,27      | 0,24 | 0,21   | 0,22      | 0,23 |
| Длина волны $\lambda_0$ , мкм                                    | 1,31                                        | 1,52 | 1,53   | 1,55 | 1,31 | 1,54      | 1,56 | 1,55   | 1,55      | 1,56 |
| Спектральная линия $\Delta\lambda_{0,5}$ , нм                    | 0,05                                        | 0,02 | 0,2    | 0,1  | 0,15 | 0,4       | 0,3  | 0,18   | 0,8       | 1    |
| Коэфф. хроматической дисперсии $\sigma_{\text{хр}}$ , пс/(нм·км) | 3,5                                         | -2,2 | 14,2   | 17,5 | -6,2 | 3,7       | 4,5  | 14,5   | 13,2      | 14   |

SF, Standard Fiber – стандартное одномодовое ступенчатое волокно, коэффициент ПМД  $\sigma_{\text{ПМД}}=0,5$  пс/ $\sqrt{\text{км}}$ ;

DSF, Dispersion-Shifted (single mode) Fiber – волокно одномодовое со смещенной дисперсией, коэффициент ПМД  $\sigma_{\text{ПМД}}=0,1$  пс/ $\sqrt{\text{км}}$ ;

SMF-LS, Single Mode Fiber-LS – одномодовое оптическое волокно со смещенной ненулевой дисперсией (Corning) [8], коэффициент ПМД  $\sigma_{\text{ПМД}}=0,05$  пс/ $\sqrt{\text{км}}$ ;

True Wave, «Истинная волна» – одномодовое оптическое волокно со смещенной ненулевой дисперсией (Lucent Technologies) [8], коэффициент ПМД  $\sigma_{\text{ПМД}}=0,1$  пс/ $\sqrt{\text{км}}$ ;

LEAF – одномодовое оптическое волокно со смещенной ненулевой дисперсией (Corning) [8], коэффициент ПМД  $\sigma_{\text{ПМД}}=0,01$  пс/ $\sqrt{\text{км}}$ .

### Методические указания к задаче 1

1) Для решения задачи 1 необходимо внимательно изучить по [7] (стр. 11 – 35) характеристики кварцевых оптических волокон.

2) Рекомендуется следующий порядок выполнения задания 1:

- определить максимальное затухание секции длиной  $L$ ,
- определить совокупную дисперсию секции с учетом ширины спектра излучения,
- определить полосу пропускания оптической линии,
- определить максимальную скорость передачи двоичных импульсов через оптическую линию.

3) Результирующее максимальное затухание секции находится из соотношения:

$$A_M = \alpha \times L \times \Psi + I_s \times N_s, [\text{дБ}], \quad (1.1)$$

где  $I_s$  – потери мощности оптического сигнала на стыке волокон строительных длин кабеля ( $I_s = 0,05$  дБ);  $N_s$  – число стыков, определяемое:  $N_s = E [(L/L_s) - 1]$  (целое число),  $L_s = 6$  км (для всех вариантов).

4) Результирующая хроматическая дисперсия секции находится из соотношения:

$$D_{xp} = \frac{\Delta \lambda_{0,5} \sigma_{xp} L \Psi}{2}, [\text{с}] \quad (1.2)$$

5) Полоса пропускания оптической линии определяется из соотношения:

$$\Delta F_{os} = \frac{0,187}{D_{xp}}, [\text{Гц}] \quad (1.3)$$

6) Максимальная скорость передачи двоичных оптических импульсов зависит от  $\Delta F_{ов}$  и их формы, которую принято считать прямоугольной или гауссовской:

$$V_{п} = 1,01 \Delta F_{ов}, [\text{бит/с}], \quad (1.4)$$

$$V_{г} = 1,34 \Delta F_{ов}, [\text{бит/с}]. \quad (1.5)$$

Для всех вариантов считать форму импульса гауссовской.

7) Для нахождения расстояния, при котором хроматическая дисперсия становится равной дисперсии ПМД необходимо приравнять математические выражения этих видов дисперсии и вычислить длину линии (в [4], стр.27 или раздел 1.2 в [17]).

8) Для вычисления мощности на выходе волокна секции необходимо из уровня мощности на входе волокна секции вычесть затухание всей секции  $A_M$  и полученное значение перевести в мощность, используя понятие «абсолютный уровень по мощности».

При обозначении коэффициентов дисперсии (хроматической и ПМД) в различной литературе могут использоваться различные значки,

например:  $\sigma_{xp}$  ,  $\sigma_{пмд}$  и  $\tau_{xp}, \tau_{пмд}$  , но при этом сохраняется одинаковый смысл.

**Привести письменно выводы и оценки по результатам расчетов.**

## 2. МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

*Изучите конспект, учебную литературу [2, 4, 13, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы:*

1. Какие виды мультиплексирования используются в оптических системах передачи?
2. Какие циклы передачи (по длительности и ёмкости) создаются при мультиплексировании PDH?
3. В чем сущность мультиплексирования PDH?
4. Какой цикл PDH создаётся синхронно, а какие плезиохронно?
5. Какие цифровые блоки создаются при мультиплексировании SDH?
6. Что представляет собой цикл STM-N в SDH (по структуре и скорости передачи)?
7. Какие цифровые блоки SDH создаются синхронным мультиплексированием?
8. В чем сущность мультиплексирования ATM?
9. Какие виды цифрового и оптического мультиплексирования применяются в OTN?
10. Какие скоростные режимы передачи цифровых данных могут поддерживаться в оптических каналах OTN?
11. Чем принципиально отличаются скорости и циклы передачи OTN и SDH?
12. В чем сущность мультиплексирования Ethernet?
13. Чем отличаются кадры Ethernet от ячеек ATM?
14. Сколько ступеней мультиплексирования предусмотрено в Ethernet?
15. Чем отличаются кадры разных ступеней мультиплексирования Ethernet?

### Задача 2

Определить число подряд следующих циклических транспортных структур технологии SDH или OTN (по варианту табл.2.1 и 2.2), которые необходимы для переноса заданного числа кадров Ethernet PBT. Определить общее время передачи этих кадров. Изобразить цепочку

преобразования этих кадров в соответствующие структуры оптической передачи.

Таблица 2.1

| Параметр                                            | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |    |    |    |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                                     | 0                                               | 1  | 2  | 3  | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| Общее число кадров Ethernet PBT, умножить на $\Psi$ | 4                                               | 16 | 64 | 92 | 124 | 200 | 310 | 412 | 802 | 914 |

Таблица 2.2

| Параметр               | Последняя цифра номера студенческого билета |      |     |      |       |      |          |      |         |      |
|------------------------|---------------------------------------------|------|-----|------|-------|------|----------|------|---------|------|
|                        | 0                                           | 1    | 2   | 3    | 4     | 5    | 6        | 7    | 8       | 9    |
| Транспортные структуры | VC4                                         | OPU1 | VC3 | OPU2 | VC 12 | OPU3 | VC 12-3v | OPU1 | VC 3-2v | OPU2 |

### *Методические указания к задаче 2*

1) Изучить внимательно разделы 2.2 и 2.4 в [17]

2) Обратить внимание на структуры цифровой ёмкости, предоставляемые под загрузку: VC4 260×9 байт каждые 125мкс, VC3 85×9 байт каждые 125мкс, VC12 136байт каждые 500мкс, OPU<sub>k</sub> 3810×4 байт независимо от k=1,2,3.

3) Учесть, что при сцепке виртуальных контейнеров предусмотрено соответствующее увеличение емкости под загрузку в том же интервале времени, например, VC12-2v удваивается за время 500мкс.

4) Учесть цикличность передачи в ОTH составляет: 48,971мкс для OTU1; 12,191мкс для OTU2; 3,035мкс для OTU3.

5) Для представления преобразования кадров Ethernet в оптическую транспортную структуру необходимо внимательно ознакомиться в [17] с рис.2.7, 2.17 и 2.20. Считать ёмкости кадров Ethernet полными.

**Привести письменно выводы и оценки по результатам расчетов.**

### 3. ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

*Изучите конспект, учебную литературу [1, 2, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы:*

1. Какие требования предъявляются к источнику оптического излучения?
2. Чем отличаются конструкции и характеристики торцевого (суперлюминесцентного) и поверхностного светодиодов для оптической связи?
3. Какие конструкции лазеров применяются в технике оптической связи?
4. Что представляет собой резонатор Фабри – Перо и какие он имеет характеристики?
5. Как устроен полупроводниковый гетеролазер с резонатором Фабри – Перо и как формирует когерентное излучение?
6. Каким образом в лазерах достигается одномодовый режим генерации?
7. Почему и какими средствами стабилизируют температурный режим работы лазера?
8. Как можно перестроить длину волны излучения одномодового лазера?
9. Что показывает диаграмма направленности излучения светодиода и лазера?
10. Чем согласуют источники излучения с волоконными световодами и атмосферой?

#### Задача 3

Определить характеристики многомодового лазера с резонатором Фабри – Перо (FP) и одномодового лазера с распределенной обратной связью (DFB).

Определить число мод в лазере FP, для которых выполняется условие возбуждения в полосе длин волн  $\Delta\lambda$  при длине резонатора  $L$  и показателе преломления активного слоя  $n$ .

Определить частотный интервал между модами и добротность резонатора на центральной моде  $\lambda_0$  при коэффициенте отражения  $R$ .

Изобразить конструкцию полоскового лазера FP. Изобразить модовый спектр.

Определить частоту и длину волны генерируемой моды в одномодовом лазере DFB для известных значений дифракционной решетки  $m$  и длины лазера  $L$ . Изобразить конструкцию лазера DFB. Исходные данные приведены в табл. 3.1-3.4.

Таблица 3.1

| Параметр лазера FP | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    | 0                                               | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| L, мкм             | 190                                             | 240 | 260 | 290 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 400 |

Таблица 3.2

| Параметр лазера FP   | Последняя цифра номера студенческого билета |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|---------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      | 0                                           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| $\Delta\lambda$ , нм | 25                                          | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   |
| $n$                  | 3,3                                         | 3,4  | 3,5  | 3,55 | 3,6  | 3,65 | 3,7  | 3,75 | 3,8  | 3,84 |
| $\lambda_0$ , мкм    | 0,42                                        | 0,43 | 0,44 | 0,45 | 0,46 | 0,47 | 0,48 | 0,49 | 0,5  | 0,51 |
| R                    | 0,25                                        | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,3  | 0,31 | 0,32 | 0,33 | 0,35 |

Таблица 3.3

| Параметр лазера DFB | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                     | 0                                               | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| L, мкм              | 140                                             | 190 | 220 | 240 | 290 | 320 | 350 | 400 | 450 | 490 |

Таблица 3.4

| Параметр лазера DFB           | Последняя цифра номера студенческого билета |      |      |     |      |     |      |      |      |      |
|-------------------------------|---------------------------------------------|------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|
|                               | 0                                           | 1    | 2    | 3   | 4    | 5   | 6    | 7    | 8    | 9    |
| Порядок решетки $m$           | 1                                           | 2    | 3    | 4   | 5    | 6   | 7    | 8    | 6    | 7    |
| Шаг решетки, d, мкм           | 0,08                                        | 0,1  | 0,2  | 0,3 | 0,4  | 0,5 | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  |
| Показатель преломления, $n_0$ | 3,4                                         | 3,45 | 3,64 | 3,7 | 3,78 | 3,9 | 3,49 | 3,38 | 3,53 | 3,68 |

### Методические указания к задаче 3

Для решения задачи 3 рекомендуется внимательно изучить материалы 3 раздела конспекта лекций.

Частота моды определяется из соотношения:

$$f_m = \frac{cm}{2Ln}, \quad (3.1)$$

где  $m$  – номер моды,  $L$  – длина резонатора (**обратите внимание!  $L=L \times \Psi$** ),  $n$  – показатель преломления;  $C$  - скорость света в свободном пространстве.

Расстояние между модами определяется из соотношения:

$$\Delta \lambda_m = \frac{\lambda_0^2}{2Ln} \quad (3.2)$$

Добротность резонатора на центральной моде  $\lambda_0$  определяется из соотношения:

$$Q = - \frac{\pi Ln}{\lambda_0 \ln R} \quad (3.3)$$

Число мод в интервале  $\Delta \lambda$  определяется:

$$M = \Delta \lambda / \Delta \lambda_m \quad (3.4)$$

Для определения длины волны и частоты генерации одномодового лазера DFB необходимо воспользоваться соотношениями:

$$\lambda_0 m = 2dn_g, \quad (3.5)$$

$$f_0 = C / \lambda_0, \quad (3.6)$$

$$f = f_0 - (m + 1/2) \frac{C}{nL}. \quad (3.7)$$

**Привести письменно выводы и оценки по результатам расчетов.**

#### 4. МОДУЛЯЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

*Изучите конспект, учебную литературу [1, 2, 4, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы:*

1. Что такое модуляция?
2. В чем состоит принципиальное отличие прямой и внешней модуляций оптического излучения?
3. В чем заключается сущность прямой модуляции в схемах с полупроводниковыми источниками оптического излучения?
4. Почему полоса частот при прямой модуляции ограничена?
5. Почему происходит искажение сигналов при прямой модуляции?
6. Чем отличаются модуляционные характеристики схем с лазером и светодиодом?
7. Какие виды внешней модуляции оптического излучения применяются в системах передачи?
8. Чем отличается электрооптический внешний модулятор от электроабсорбционного?
9. Какие виды внешней модуляции оптического излучения обеспечиваются модулятором Маха-Зендера?
10. Какие шумы образуются при модуляции?
11. Как уменьшить нелинейные искажения при модуляции?
12. Как устроен передающий оптический модуль?
13. С какой целью в состав передающего оптического модуля вводятся термодатчик и терморегулятор?
14. Какие электрические и оптические характеристики имеет передающий оптический модуль?

#### Задача 4

По данным табл. 4.1 построить зависимость выходной мощности источника оптического излучения от величины электрического тока, протекающего через него. Для заданных (по варианту) тока смещения и амплитуды модулирующих однополярных импульсов (табл. 4.2 и 4.3 с учётом  $\Psi$ ) определить графически изменение выходной модуляционной мощности  $P_{\text{макс}}$  и  $P_{\text{мин}}$  и определить глубину модуляции  $\eta$ . По построенной характеристике указать вид источника (светодиод или лазер?).

Таблица 4.1

|         |   |    |    |    |    |    |     |     |     |     |
|---------|---|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| I, мА   | 0 | 5  | 10 | 15 | 18 | 20 | 22  | 24  | 26  | 28  |
| P, мкВт | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 90 | 160 | 230 | 310 | 370 |

Таблица 4.2

| Параметр         | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|-------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                  | 0                                               | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| Ток смещения, мА | 9                                               | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |

Таблица 4.3

| Параметр                                            | Последняя цифра номера студенческого билета |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|                                                     | 0                                           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Амплитуда тока модуляции<br>умножить на $\Psi$ , мА | 2                                           | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 5 | 6 |

#### Методические указания к задаче 4

Для решения задачи необходимо внимательно изучить раздел 4 в [17].

Для определения глубины модуляции использовать соотношение (4.1):

$$\eta = \frac{I_{\text{макс}} - I_{\text{мин}}}{I_{\text{мин}}} . \quad (4.1)$$

Рекомендуется при построении графика ватт-амперной характеристики чертеж выполнить на миллиметровой бумаге в масштабе 1 мм : 0,2 мА и 1мм : 1,5 мкВт.

**Привести рисунок модуляции, выводы и оценки по результатам расчетов и построений.**

## 5. ФОТОПРИЕМНИКИ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Изучите конспект, учебную литературу [1, 2, 4, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы:

1. Какие требования предъявляются к фотоприемникам оптических систем передачи?
2. Какие виды фотодетекторов используются в оптических системах передачи?
3. Почему в основном применяются полупроводниковые фотодиоды в оптических системах передачи?
4. Какие основные оптические и электрические характеристики имеет фотодиод конструкции p-i-n?
5. Чем ограничен диапазон оптических частот для фотодетектирования?
6. Почему у фотодетекторов есть длинноволновая граница чувствительности?
7. Чем отличается конструкция лавинного фотодиода (ЛФД) от конструкции фотодиода p-i-n?
8. Чем отличается принцип действия ЛФД от фотодиода p-i-n?
9. Какими средствами сокращается время включения фотодиода?
10. Чем определяется коэффициент усиления ЛФД?
11. Почему фотодиоды шумят?
12. Какие шумы фотодиодов принципиально неустранимы?
13. Почему фотодиоды типа TAP и TWPД относят к перспективным приборам?

### Задача 5

Построить график зависимости чувствительности фотодетектора от длины волны оптического излучения по данным табл. 5.1. Используя график и данные табл. 5.2(с учетом  $\Psi$ ) и 5.3 определить величину фототока на выходе p-i-n фотодиода. По графику определить длинноволновую границу чувствительности фотодетектора. Определить материал для изготовления прибора.

Таблица 5.1

|                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Чувствительность, А/Вт | 0,28 | 0,32 | 0,43 | 0,53 | 0,58 | 0,65 | 0,73 | 0,64 | 0,1  |
| Длина волны, мкм       | 0,85 | 1    | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,78 |

Таблица 5.2

| Параметр                                                       | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |     |   |     |   |     |   |     |   |   |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|---|
|                                                                | 0                                               | 1   | 2 | 3   | 4 | 5   | 6 | 7   | 8 | 9 |
| Мощность излучения $P_{\text{и}}$<br>умножить на $\Psi$ , мкВт | 0,2                                             | 0,8 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 5 |

Таблица 5.3

| Параметр                        | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|-------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                 | 0                                               | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| Длина волны, $\lambda$ ,<br>мкм | 1,75                                            | 1,65 | 1,55 | 1,43 | 1,31 | 1,29 | 1,15 | 0,98 | 0,91 | 0,86 |

### Методические указания к задаче 5

Для решения задачи необходимо изучить 5 раздел в [17].

При решении задачи необходимо учесть соотношения (5.1), (5.2), (5.3):

$$I_{\Phi} = \frac{P_{\text{и}} \eta_{\text{вн}} e}{E_{\Phi}}, \quad (5.1)$$

$$E_{\Phi} = hC / \lambda, \quad (5.2)$$

$$S = I_{\Phi} / P_{\text{и}}, \quad (5.3)$$

где,  $E_{\Phi}$  – энергия фотона в эВ,  $e$  – заряд электрона;  $\eta_{\text{вн}}$  – внутренняя квантовая эффективность фотодиода;  $h$  – постоянная Планка ( $4,1 \times 10^{-15}$  эВ),  $C$  – скорость света ( $3 \times 10^8$  м/с). Произведение  $h \times C = 1,24$  эВ $\times$ мкм. В расчёте можно использовать  $h = 6,626 \times 10^{-34}$  Дж $\times$ с, но при этом учесть заряд электрона  $1,6 \times 10^{-19}$  Кл.

Длинноволновая граница чувствительности фотодетектора определяется соотношением (5.4):

$$\lambda_{\text{гр}} \leq 1,24 \text{ (эВ} \cdot \text{мкм)} / E_{\text{г}}, \quad (5.4)$$

где  $E_{\text{г}}$  – ширина запрещенной зоны полупроводникового материала, из которого сделан фотодиод.

Рекомендуется при построении графика зависимости чувствительности фотодетектора от длины волны выполнить чертеж на миллиметровой бумаге в масштабе 1мм : 0,01мкм и 1мм : 0,01 А/Вт.

**Привести рисунок, выводы и оценки по результатам расчетов.**

## **6. ФОТОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ**

*Изучите конспект, учебную литературу [1, 2, 4, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы:*

1. Чем отличается прямое фотодетектирование от фотодетектирования с преобразованием?
2. Какие функциональные блоки входят в схему фотоприемного устройства (ФПУ) с прямым детектированием?
3. Какие виды предварительных усилителей применяются в фотоприемных устройствах?
4. Из каких элементов состоит входная цепь фотоприемного устройства с прямым детектированием?
5. Как устроена входная цепь фотоприемного устройства детектирования с преобразованием?
6. Как соотносятся между собой электрическая и оптическая полосы частот пропускания ФПУ?
7. Чем определяется величина соотношения сигнал/шум на выходе ФПУ?
8. Чем выполняется противошумовая коррекция в ФПУ?
9. Чем отличается гомодинный приемник сигнала от гетеродинного в ФПУ с преобразованием?
10. Что используется для детектирования оптического сигнала с фазовой модуляцией?

### **Задача 6**

Определить полосу пропускания и отношение сигнал/шум для фотоприёмного устройства, содержащего интегрирующий (ИУ) или трансимпенансный (ТИУ) усилитель и фотодетектор (ЛФД или р-і-п).

Исходные данные по вариантам приведены в табл. 6.1 и 6.2 (с учётом  $\Psi$ ).

Таблица 6.1

| Параметр             | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |     |       |      |       |     |       |      |       |      |
|----------------------|-------------------------------------------------|-----|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|------|
|                      | 0                                               | 1   | 2     | 3    | 4     | 5   | 6     | 7    | 8     | 9    |
| Тип ФД               | p-i-n                                           | ЛФД | p-i-n | ЛФД  | p-i-n | ЛФД | p-i-n | ЛФД  | p-i-n | ЛФД  |
| Тип усилителя        | ИУ                                              | ТИУ | ИУ    | ТИУ  | ИУ    | ТИУ | ИУ    | ТИУ  | ИУ    | ТИУ  |
| R <sub>э</sub> , кОм | 1000                                            | 100 | 1100  | 110  | 1200  | 90  | 1300  | 80   | 1400  | 70   |
| C <sub>э</sub> , пФ  | 1                                               | 2   | 2,5   | 1,5  | 3     | 3,5 | 0,5   | 2,3  | 1,7   | 0,8  |
| η <sub>вн</sub>      | 0,4                                             | 0,8 | 0,45  | 0,85 | 0,5   | 0,9 | 0,55  | 0,93 | 0,6   | 0,96 |
| M                    | 1                                               | 10  | 1     | 20   | 1     | 30  | 1     | 40   | 1     | 50   |
| F <sub>ш</sub> (М)   | 1                                               | 5   | 1     | 6    | 1     | 7   | 1     | 8    | 1     | 9    |
| T                    | 280                                             | 290 | 295   | 300  | 310   | 315 | 320   | 330  | 335   | 340  |
| D <sub>ш</sub>       | 2                                               | 3   | 2,5   | 3,5  | 4     | 4,5 | 5     | 5,5  | 6     | 6,5  |
| K <sub>ус</sub>      | 1000                                            | 100 | 1100  | 120  | 1200  | 130 | 1300  | 150  | 2000  | 90   |

Таблица 6.2

| Параметр                  | Последняя цифра номера студенческого билета |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
|---------------------------|---------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
|                           | 0                                           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 9    |
| R <sub>пер</sub> , дБм    | -3                                          | 0    | +1   | +2   | +3   | +4   | +5   | +6   | +8  | +10  |
| L<br>умножить<br>на Ψ, км | 30                                          | 35   | 40   | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   | 75  | 80   |
| α, дБ/км                  | 0,3                                         | 0,33 | 0,26 | 0,25 | 0,24 | 0,23 | 0,22 | 0,21 | 0,2 | 0,19 |

### Методические указания к задаче 6

Для решения задачи 6 необходимо изучить раздел 6 в [17].

Полоса частот усиления ФПУ с ИУ ограничена полосой пропускания входной цепи ФПУ и находится из соотношения (6.1):

$$\Delta F_{\text{иу}} = \frac{1}{2\pi R_{\text{э}} C_{\text{э}}} \quad (6.1)$$

Полоса частот усиления ФПУ с ТИУ ограничена полосой пропускания усилителя и находится из соотношения (6.2):

$$\Delta F_{\text{тиу}} \leq \frac{K_{\text{ус}}}{2\pi R_{\text{э}} C_{\text{э}}} \quad (6.2)$$

Фототок детектора создается падающей оптической мощностью и зависит от типа фотодетектора. Величина фототока вычисляется из соотношений (6.3) и (6.4), куда необходимо подставить значение мощности R<sub>пер</sub> и R<sub>пр</sub>. Для этого уровень мощности нужно перевести в мощность пользуясь понятием «абсолютного уровня по мощности».

$$\text{Фототок } I_{\phi} = P_{\text{пр}} \frac{e \eta_{\text{вн}} M}{hf} \quad (6.3)$$

$$\text{Мощность } P_{\text{пр}} = P_{\text{пер}} 10^{-0,1 \alpha L}, \quad (6.4)$$

где  $h$  – постоянная Планка,  $f$  – линейная частота оптического сигнала для длины волны из задачи №5,  $e$  – заряд электрона,  $\eta_{\text{вн}}$  – внутренняя квантовая эффективность,  $M$  – коэффициент умножения ЛФД,  $P_{\text{пр}}$  – мощность сигнала на приеме,  $P_{\text{пер}}$  – мощность сигнала на передаче,  $\alpha$  – километрическое затухание кабеля,  $L$  – длина кабельной линии с учётом  $\Psi$ . Для вычисления основных шумов ФПУ, а это квантовый и тепловой шумы, необходимо воспользоваться соотношениями (6.5) и (6.6):

$$P_{\text{ш.кв.}} = 2eM^2 I_{\phi} \Delta F F_{\text{ш}}(M), \quad (6.5)$$

$$P_{\text{ш.т.}} = \frac{4KT \Delta F D_{\text{ш}}}{R_{\text{э}}}, \quad (6.6)$$

где  $K = 1,38 \times 10^{-23}$  Дж/к – постоянная Больцмана,  $\Delta F$  полоса частот ИУ или ТИУ (по варианту из соотношений 6.1 или 6.2).

Отношение сигнал/шум вычисляется из соотношения (6.7):

$$C/\text{ш} = \frac{I_{\phi}}{\sqrt{P_{\text{ш.кв.}} + P_{\text{ш.т.}}}}. \quad (6.7)$$

Для представления соотношения  $C/\text{ш}$  в логарифмическом масштабе необходимо определить  $20\lg(C/\text{ш})$  и представить результат в [дБ].

**Привести письменно выводы и оценки по результатам расчетов.**

## 7. ОПТИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

*Изучите конспект, учебную литературу [4, 6, 7, 15, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы:*

1. На каких физических явлениях основаны оптические усилители?
2. Какие типы усилителей могут применяться в оптических системах передачи?
3. Как устроены и действуют полупроводниковые оптические усилители?
4. Из каких устройств состоят и как действуют волоконные усилители на основе рассеяния Рамана?
5. Как устроены и действуют усилители на примесном волокне (на примере  $\text{Er}^{+}$ )?
6. Какими характеристиками описывают оптические усилители?
7. В каких частях оптических систем передачи могут использоваться усилители?
8. Какие шумы и искажения имеют место в оптических усилителях?
9. Какие реальные коэффициенты усиления обеспечивают полупроводниковые и волоконные оптические усилители?
10. В чем преимущество рамановских оптических усилителей?

### Задача 7

Определить длину взаимодействия  $L$  излучения накачки в рамановском усилителе, при которой коэффициент распределенного усиления  $G =$  (по варианту табл. 7.1), при соответствующей мощности накачки  $P_n$  (с учётом  $\Psi$ ), площади модового пятна  $A$  и рамановском коэффициенте усиления материала  $g$  (табл. 7.2).

Таблица 7.1

| Параметр                      | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |     |    |     |    |     |    |     |    |     |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|
|                               | 0                                               | 1   | 2  | 3   | 4  | 5   | 6  | 7   | 8  | 9   |
| $P_n$ умножить на $\Psi$ , Вт | 1                                               | 1,5 | 2  | 2,5 | 3  | 3,5 | 4  | 4,5 | 5  | 5,5 |
| $A$ , $\text{мкм}^2$          | 30                                              | 35  | 40 | 45  | 50 | 55  | 60 | 65  | 70 | 80  |
| $G$ , дБ                      | 12                                              | 3   | 4  | 5   | 6  | 7   | 8  | 9   | 10 | 11  |

Таблица 7.2

| Параметр                          | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|
|                                   | 0                                               | 1 | 2   | 3 | 4   | 5 | 6   | 7 | 8   | 9 |
| $g, \times 10^{-14} \text{ м/Вт}$ | 7,5                                             | 7 | 6,4 | 6 | 5,5 | 5 | 4,5 | 4 | 3,5 | 3 |

### Методические указания к задаче 7

1) Расчёт произвести, используя соотношение (7.1).

Усиление вследствие ВКР зависит от интенсивности (равной мощности накачки  $P_n$ , деленной на площадь модового пятна  $A$ ), длины взаимодействия  $L$  волны накачки и сигнальной волны и коэффициента усиления  $g$ :

$$G_R \approx \exp\left(\frac{g P_i L}{A}\right). \quad (7.1)$$

2) Значение  $G$  (в дБ) преобразовать в значение в размах

$$G_R = 10^{0,1 G} \quad (7.2)$$

3) Значение  $A$  представить в размерности  $\text{км}^2$ , например,  $A=50 \text{ мкм}^2$  или  $50 \times 10^{-17} \text{ км}^2$ .

4) Значение  $g$  представить в размерности  $\text{км/Вт}$ , например,  $g=7 \times 10^{-17} \text{ км/Вт}$ .

5) Равенства (7.1) добиться через ряд итераций.

## 8. ЛИНЕЙНЫЕ ТРАКТЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

*Изучите конспект, учебную литературу [2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 14, 17, 19] и ответьте письменно на следующие вопросы:*

1. Какие разновидности линейных трактов существуют в оптических системах передачи?
2. Чем ограничены возможности использования атмосферных оптических линейных трактов?
3. Какие различия имеют одноволновые оптические линейные тракты ВОСП?
4. Какие различия имеют многоволновые (многоканальные) оптические линейные тракты ВОСП-WDM?
5. Какие функции выполняет транспондер?
6. Чем отличаются сетки частот и волн DWDM и CWDM?
7. Какие требования предъявляются к линейным кодам ВОСП?
8. Чем отличаются форматы RZ и NRZ в линейных кодах ВОСП?
9. Чем отличаются коды 1B2B от кодов mBnB?
10. В чем сущность скремблированных линейных кодов?
11. В чем сущность коэффициента битовых ошибок BER или  $K_{\text{ош}}$ ?
12. С какой целью нормируют BER?
13. Какие устройства линейного тракта ВОСП способствуют увеличению BER?
14. Чем определяется длина регенерационного участка ВОСП?
15. Какие устройства могут входить в состав линейного тракта многоволновой ВОСП?
16. От каких факторов зависит величина OSNR в оптическом канале ВОСП-WDM?
17. Что подлежит расчёту или оценке при проектировании сложных линейных трактов ВОСП-WDM?
18. С какой целью в ВОСП используется оценка Q-фактора?
19. С какой целью в ВОСП используется FEC?
20. Какие разновидности оптических интерфейсов относят к стандартным?
21. Что нормируется в одноволновых и многоволновых оптических интерфейсах?

### Задача 8.1

Используя приложения 1 для оптических интерфейсов аппаратуры SDH, определенных рекомендациями МСЭ-Т G.957 и G.691, определить по варианту (табл.8.1 и 8.2 с учетом  $\Psi$ ) предельную дальность передачи по двум типам волокон без промежуточных регенераторов, но с возможным использованием оптических усилителей. Также определить минимальное расстояние между оптическим передатчиком и оптическим приёмником заданного интерфейса для исключения перегрузки приёмника.

Таблица 8.1

| Параметр                                          | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |      |       |       |        |        |       |        |       |        |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|
|                                                   | 0                                               | 1    | 2     | 3     | 4      | 5      | 6     | 7      | 8     | 9      |
| Интерфейс                                         | L4.2                                            | V4.2 | L16.2 | U16.2 | L64.2a | L64.2c | L64.3 | V64.2a | V64.3 | L1.3FP |
| Строительная длина кабеля умножить на $\Psi$ , км | 2                                               | 2,5  | 3     | 3,5   | 4      | 4,5    | 5     | 5,5    | 6     | 6,5    |
| Затухание на стыке длин, $I_s$ , дБ               | 0,05                                            | 0,04 | 0,03  | 0,06  | 0,07   | 0,08   | 0,02  | 0,04   | 0,05  | 0,1    |
| Затухание на разъёмном стыке, $I_c$ , дБ          | 0,65                                            | 0,6  | 0,1   | 0,3   | 0,25   | 0,2    | 0,15  | 0,4    | 0,5   | 0,35   |

Таблица 8.2

| Параметр                  | Последняя цифра номера студенческого билета |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------|---------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                           | 0                                           | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      |
| Тип волокна 1             | G.652                                       | G.652  | G.652  | G.652  | G.652  | G.652  | G.652  | G.652  | G.652  | G.652  |
| $\alpha_c$ , дБ/км        | 0,19                                        | 0,2    | 0,21   | 0,22   | 0,23   | 0,24   | 0,25   | 0,26   | 0,27   | 0,28   |
| $\sigma_{xp}$ , пс/нм× км | 15,5                                        | 15,6   | 15,7   | 15,8   | 15,9   | 16,0   | 16,1   | 16,2   | 16,3   | 16,4   |
| Тип волокна 2             | G. 655                                      | G. 655 | G. 655 | G. 655 | G. 655 | G. 655 | G. 655 | G. 655 | G. 655 | G. 655 |
| $\alpha_c$ , дБ/км        | 0,2                                         | 0,21   | 0,22   | 0,23   | 0,24   | 0,25   | 0,2    | 0,21   | 0,22   | 0,23   |
| $\sigma_{xp}$ , пс/нм× км | 7,6                                         | 7,7    | 7,8    | 7,9    | 8,0    | 8,1    | 8,2    | 8,3    | 8,4    | 8,5    |

Тип волокна 1 имеет коэффициент  $\sigma_{пмд}=0,02\text{пс}/\sqrt{\text{км}}$ .

Тип волокна 2 имеет коэффициент  $\sigma_{пмд}=0,04\text{пс}/\sqrt{\text{км}}$ .

### Методические указания к задаче 8.1

1) Для решения задачи необходимо внимательно изучить раздел 8.5 в [17].

2) Максимальное и минимальное расстояние передачи с точки зрения энергетического потенциала определить из соотношения (8.1) (рекомендуется предварительно рассмотреть пример расчета в разделе 8.5 [17]).

$$L_{py} \leq \frac{P_s - P_R - P_D - M_e - (N-1) \times I_s - N_c \times I_c}{\alpha_c + \alpha_m}, \quad (8.1)$$

где  $P_s$  – уровень мощности сигнала передатчика в точке стыка S (дБм),  $P_R$  – уровень мощности сигнала на входе приемника в точке стыка R (дБм), определенный для заданного  $K_{0ш}$ ;  $P_D$  – мощность дисперсионных потерь или максимальный штраф за дисперсионные потери (дБ);  $M_e$  – энергетический запас на старение оборудования (дБ);  $N$  – число строительных длин кабеля;  $I_s$  – потери энергии на стыках строительных длин (дБ);  $N_c$  – число разъёмных соединений между точками S и R;  $I_c$  – потери энергии на разъёмном соединении (дБ);  $\alpha_c$  – коэффициент затухания кабеля (дБ/км);  $\alpha_m$  – запас на повреждения кабеля (дБ/км).

Необходимо рассчитать расстояние для двух типов волокон. Учесть, что число разъёмных соединений составляет  $N_c = 4$ , а число сварных стыков  $N$  зависит от строительных длин.

3) Значение запаса на старение оборудования  $M_e$  определяется из данных передатчика интерфейса как разность между максимальным и минимальным уровнем мощности передачи. Потери на повреждение кабеля  $\alpha_m$  считать 0,05 дБ/км

4) Для оценки минимальной длины участка регенерации необходимо вычесть из максимального уровня мощности передачи максимальный уровень мощности, допустимый на входе приёмника (минимальный уровень перегрузки). Полученную разность поделить на километрическое затухание кабеля.

5) Для оценки максимальной дальности передачи с точки зрения дисперсионных искажений за счет хроматической дисперсии необходимо разделить допустимое значение дисперсии для заданного интерфейса на значение  $\sigma_{хр}$ . Полученные результаты для двух типов волокон сравнить. Рассчитать на полученном расстоянии значение ПМД. Определить в процентном соотношении вклад ПМД в совокупную дисперсию (рекомендуется использовать соотношения 8.14, 8.15 в [17]) при ширине спектральной линии передатчика 1 нм.

## Задача 8.2

Для заданного количества оптических каналов в ВОСП-WDM и OSNR (табл.8.3) каждого канала определить минимальный допустимый уровень передачи одного канала и максимальный допустимый уровень всех каналов в стекловолокне при использовании на промежуточных станциях  $M_{yc}$  – эрбиевых усилителей с усилением  $A$  и с коэффициентом шума  $NF$  (табл.8.4). Для скоростей передачи цифровых данных в формате NRZ 2,5Гбит/с и 10Гбит/с считать шум спонтанной эмиссии - 58дБ и -56дБ соответственно.

Таблица 8.3

| Параметр                                                      | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |         |          |          |           |          |           |          |           |          |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
|                                                               | 0                                               | 1       | 2        | 3        | 4         | 5        | 6         | 7        | 8         | 9        |
| Число оптических каналов и скорость передачи в каждом, Гбит/с | 4<br>2,5                                        | 6<br>10 | 8<br>2,5 | 10<br>10 | 12<br>2,5 | 14<br>10 | 16<br>2,5 | 18<br>10 | 20<br>2,5 | 24<br>10 |
| OSNR, дБ                                                      | 20                                              | 21      | 22       | 23       | 24        | 25       | 26        | 24,5     | 23,5      | 21,5     |

Таблица 8.4

| Параметр                                       | Последняя цифра номера студенческого билета |     |    |     |    |     |    |    |    |     |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|-----|
|                                                | 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   |
| Коэффициент усиления $A$ плюс $10\lg\Psi$ , дБ | 33                                          | 28  | 27 | 26  | 25 | 24  | 23 | 22 | 21 | 36  |
| Коэффициент шума $NF$ , дБ                     | 8                                           | 7,5 | 7  | 6,5 | 6  | 5,5 | 5  | 5  | 5  | 8,3 |

### Методические указания к задаче 8.2

Для решения задачи необходимо изучить раздел 8.7 в [17].

Для определения уровня мощности в оптическом канале использовать соотношение (8.2)

$$OSNR = P_{ch} - a_s - NF - 10\lg M_{yc} + 58\text{дБ}, \quad (8.2)$$

где  $P_{ch}$  – минимальный допустимый уровень мощности сигнала в одном канале,  $a_s$  – усиление оптического усилителя с учётом  $\Psi$ ,  $NF$  – коэффициент шума усилителя (для EDFA 5-6дБ), значение 58дБ

представляет собой оптический квантовый шум в полосе канала на входе усилителя для скорости передачи до 2,5Гбит/с ( $\Delta f=2,5$ ГГц), т.е.

$$- 58\text{дБ} = 10\lg(h \times f \times \Delta f). \quad (8.3)$$

Минимальный уровень мощности на входе усилителя для одного канала определяется соотношением (8.4).

$$P_{ch \min} = OSNR + a_s + NF + 10\lg M_{yc} - 58\text{дБ}. \quad (8.4)$$

Для определения максимального уровня мощности всех оптических каналов использовать соотношение (8.5).

$$P_{ch \max} = P_{\max} - 10\lg N, \text{ дБ} \quad (8.5)$$

где  $P_{\max}$  – максимальный допустимый уровень передачи в стекловолокне, ограниченный нелинейными эффектами,  $N$  – число оптических каналов. Во всех вариантах считать, что используется стекловолокно стандарта G.652, в котором допустимый уровень мощности не должен превышать +17дБм. Сравнить это значение с максимальным уровнем мощности, получаемым в расчете. Считать равными минимальный и максимальный уровни мощности в канале.

**Привести письменно выводы и оценки по результатам расчетов.**

## **9. ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ И ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

*Изучите конспект, учебную литературу [1, 2, 3, 4, 7, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы:*

1. Какие разновидности пассивных компонентов применяются в составе оптических систем передачи?
2. Какие виды оптических волновых мультиплексоров обеспечивают максимальное число объединяемых волн?
3. Каким образом может осуществляться волновое демультимплексирование (разделение оптических волн)?
4. Какие виды оптических коммутационных устройств могут использоваться в составе оптических систем передачи, кроссовых коммутаторов и маршрутизаторов?
5. Какие из оптических коммутаторов характеризуются наивысшим быстродействием?
6. Как устроен и действует оптический вентиль?
7. Где применяются оптические вентили в составе систем передачи?
8. Какие функции выполняют оптические фильтры и конверторы волн?
9. Какое назначение имеют оптические разветвители и аттенюаторы?
10. Что представляют собой оптические мультиплексоры OADM и ROADM?

### **Задача 9**

Определить число оптических каналов на каждой из оптических секций мультиплексирования в цепочке, состоящей из 2-х терминальных WDM мультиплексоров и  $X$  (число по варианту табл.9.1) промежуточных оптических мультиплексоров типа ROADM. Внутри каждой пары оптических мультиплексоров организовано  $Y$  (число по варианту табл.9.2) оптических каналов. Определить по данным приложения и привести характеристики интерфейса одного оптического канала (по варианту табл.9.1).

Таблица 9.1

| Параметр                       | Предпоследняя цифра номера студенческого билета |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|--------------------------------|-------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|                                | 0                                               | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  |
| Число мультиплексоров ROADM, X | 2                                               | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Условный номер                 | 0                                               | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  |

Каждому условному номеру соответствует интерфейс (приложение 3):

0 – DN100S-1D2(c); 1 – DN100S-1D3(L); 2 - DN100S-1D5(c); 3 - DN100S-1D2(c)F; 4 - DN100S-1D3(L)F; 5 - DN100S-1D5(c)F; 6 - DW100S-1D2(c)F; 7 - DW100S-1D3(c)F; 8 - DW100S-1D5(c)F; 9 - DW100L-1D5(c)F.

Таблица 9.2

| Параметр                                           | Последняя цифра номера студенческого билета |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|                                                    | 0                                           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  |
| Число каналов внутри каждой пары мультиплексоров Y | 2                                           | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |

### Методические указания к задаче 9

1) Графически изобразить заданное число мультиплексоров, т.е. 2 терминальных и X типа ROADM, включенных в цепочку. Пары мультиплексоров определяются по принципу «каждый с каждым» связаны Y каналами. Например, в цепочке из 2-х терминальных и 2-х промежуточных мультиплексоров будет 6 пар.

2) Графически отобразить в каждой паре мультиплексоров (в том числе и терминальных) требуемое по варианту число оптических каналов.

3) Определить на каждой секции мультиплексирования, т.е. между соседними мультиплексорами общую ёмкость оптических каналов.

4) Пользуясь данными приложения 3 объяснить смысл обозначений интерфейсов по варианту. При этом в выводах нужно ответить на вопрос – чем отличаются интерфейсы?

**Привести письменно выводы и оценки по результатам вычерчивания схемы и расчетов.**

## **10. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С СОЛИТОННОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ И НАНОФОТОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

*Изучите конспект, учебную литературу [10, 11, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы:*

1. Что представляет собой оптический солитон?
2. Почему в стекловолокне может образоваться оптический солитон?
3. Почему солитон сохраняет свою форму при распространении по оптической линии на большие расстояния?
4. Какую длительность имеет оптический солитон в стекловолокне?
5. Как должны соотноситься длительность солитона и период следования солитонов?
6. Какие устройства должны входить в состав солитонной системы передачи?
7. Каким образом импульсы информационного сигнала преобразуются в солитоны?
8. Каким образом солитоны преобразуются в импульсы информационного сигнала?
9. Почему солитоны при распространении по стекловолкну могут оказаться неустойчивыми и "рассыпаться"?
10. Какие скорости передачи могут быть реализованы с помощью солитонов?
11. Что представляют собой фотонные кристаллы?
12. Где можно использовать фотонные кристаллы в составе ВОСП?
13. Какие технологии называют нанофотонными?
14. Какие нанофотонные компоненты можно применить в ВОСП?

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Оптические системы передачи (ОСП), появившиеся в начале 60-х годов 20 века, прошли несколько принципиальных этапов развития и сегодня представляют собой основную базу развития всех проводных телекоммуникаций. ОСП применяются на всех участках сетей связи: магистральные и внутризоновые транспортные сети, местные транспортные сети и сети доступа вплоть до терминалов пользователей – всюду заняли они свои позиции благодаря широкополосности и помехоустойчивости. Техникой связи 21 века считают полностью оптические сети, в которых процессы преобразования, передачи и коммутации сигналов будут происходить исключительно в оптическом диапазоне частот.

В рамках небольшого учебного курса нет возможности раскрыть все стороны оптической связи, в том числе, вопросы строительства и технической эксплуатации различных ОСП (наземных, подводных, с подвесными кабелями и многоволновой передачи и т.д.). Тому, кто будет интересоваться проблемами оптической связи в атмосфере и по оптическим волоконным линиям рекомендуется достаточно обширный, хотя и далеко не исчерпывающий список литературы разных лет издания. Можно не сомневаться, что будущее широкополосных сетей за оптической связью с существующими и перспективными решениями, которые уже обсуждаются в научных изданиях.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ SDH

Таблица П1.1. Характеристики STM-1

| Характеристики                                                                               | Единица | Значение                                   |           |           |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Цифровой сигнал,<br>скорость передачи,<br>линейное кодирование                               | кбит/с  | STM-1,<br>155 520,<br>скремблированный NRZ |           |           |           |
| Прикладной код                                                                               |         | I-1                                        | S-1.1     | S-1.2     |           |
| Рабочий диапазон волн                                                                        | нм      | 1260-1360                                  | 1261-1360 | 1430-1576 | 1430-1580 |
| <b>Передатчик в опорной точке S</b>                                                          |         |                                            |           |           |           |
| Тип источника                                                                                |         | FP                                         | LED       | FP        | DFB       |
| Спектральные характеристики:                                                                 |         |                                            |           |           |           |
| – максимальное СКЗ ширины ( $\Delta\lambda$ )                                                | нм      | 40                                         | 7,7       | 2,5       | -         |
| – максимальная ширина на уровне -20 дБ                                                       | нм      |                                            | 80        | -         | 1         |
| – минимальный коэффициент подавления боковой моды                                            | дБ      | -                                          | -         | -         | 30        |
| Средняя вводимая мощность:                                                                   |         |                                            |           |           |           |
| – максимальная                                                                               | дБм     | -8                                         | -8        | -8        |           |
| – минимальная                                                                                | дБм     | -15                                        | -15       | -15       |           |
| Мин. коэффициент гашения (EX)                                                                | дБ      | 8,2                                        | 8,2       | 8,2       |           |
| <b>Оптический тракт между S и R</b>                                                          |         |                                            |           |           |           |
| Диапазон ослабления                                                                          | дБ      | 0-7                                        | 0-12      | 0-12      |           |
| Макс. дисперсия                                                                              | пс/нм   | 18                                         | 25        | 96        | 296       |
| Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая любые соединители | дБ      | H/O                                        | H/O       | H/O       | H/O       |
| Макс. дискретная отражательная способность между S и R                                       | дБ      | H/O                                        | H/O       | H/O       | H/O       |
| <b>Приемник в опорной точке R</b>                                                            |         |                                            |           |           |           |
| Минимальная чувствительность                                                                 | дБм     | -23                                        | -28       | -28       |           |
| Минимальная перегрузка                                                                       | дБм     | -8                                         | -8        | -8        |           |
| Максимальный штраф оптического тракта                                                        | дБ      | 1                                          | 1         | 1         |           |
| Максимальная отражательная способность, измеренная в R                                       | дБ      | H/O                                        | H/O       | H/O       |           |

Сокращения: СКЗ, средняя квадратическая зависимость; H/O, не определено; NRZ, non return to zero – без возвращения к нулю; FP, Fabry-Perot – Фабри-Перо (конструкция полупроводникового лазера); LED, light-emitting diode – светодиод; DFB, distributed feedback – распределённая обратная связь. Коэффициент гашения (EX) определяют как:  $EX = 10 \log (A/B)$ , где A – средний уровень оптической мощности в центре логической «1», а B – средний уровень оптической мощности в центре логического «0». Общеприняты следующие условия для уровней оптической логики:

- излучение света – логическая единица «1»;
- отсутствие излучения – логический нуль «0».

Макс. – максимальное. Мин. – минимальное.

Таблица П1.2. Характеристики STM-1

| Характеристики                                                                         | Единица | Значение                                   |           |                         |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| Цифровой сигнал,<br>скорость передачи,<br>линейное кодирование                         | кбит/с  | STM-1,<br>155 520,<br>скремблированный NRZ |           |                         |           |
| Прикладной код                                                                         |         | L-1.1                                      | L-1.2     | L-1.3                   |           |
| Рабочий диапазон волн                                                                  | нм      | 1263-1360                                  | 1480-1580 | 1534-1566/<br>1523-1577 | 1480-1580 |
| <b>Передатчик в опорной точке S</b>                                                    |         | FP                                         | DFB       | DFB                     | FP        |
| Тип источника                                                                          |         | 3                                          | -         |                         | 3/2,5     |
| Спектральные характеристики:                                                           |         |                                            |           |                         |           |
| – максимальное СКЗ ширины ( $\Delta\lambda$ )                                          | нм      |                                            |           |                         | -         |
| – максимальная ширина на уровне -20 дБ                                                 | нм      | -                                          | 1         | 1                       | 1         |
| – минимальный коэффициент подавления боковой моды                                      | дБ      | -                                          | 30        | 30                      | 30        |
| Средняя вводимая мощность:                                                             |         |                                            |           |                         |           |
| – максимальная                                                                         | дБм     |                                            | 0         | 0                       | 0         |
| – минимальная                                                                          | дБм     |                                            | -5        | -5                      | -5        |
| Мин. коэффициент гашения (EX)                                                          | дБ      |                                            | 10        | 10                      | 10        |
| <b>Оптический тракт между S и R</b>                                                    |         |                                            |           |                         |           |
| Диапазон ослабления                                                                    | дБ      | 10-28                                      | 10-28     | 10-28                   |           |
| Максим. дисперсия                                                                      | пс/нм   | 246                                        | H/O       | H/O                     | 246/296   |
| Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая соединители | дБ      | H/O                                        | 20        | H/O                     | H/O       |
| Максимальная дискретная отражательная способность между S и R                          | дБ      | H/O                                        | -25       | H/O                     | H/O       |
| <b>Приемник в опорной точке R</b>                                                      |         |                                            |           |                         |           |
| Минимальная чувствительность                                                           | дБм     | -34                                        | -34       | -34                     |           |
| Минимальная перегрузка                                                                 | дБм     | -10                                        | -10       | -10                     |           |
| Максимальный штраф оптического тракта                                                  | дБ      | 1                                          | 1         | 1                       |           |
| Максимальная отражательная способность, измеренная в R                                 | дБ      | H/O                                        | -25       | H/O                     | H/O       |

Таблица П1.3. Характеристики STM-4

| Характеристики                                                                               | Единица | Значение                                   |                         |           |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------|-------------------------|-----------|------|
| Цифровой сигнал,<br>скорость передачи,<br>линейное кодирование                               | кбит/с  | STM-4,<br>622 080,<br>скремблированный NRZ |                         |           |      |
| Прикладной код                                                                               |         | I-4                                        | S-4.1                   | S-4.2     |      |
| Рабочий диапазон волн                                                                        | нм      | 1261-1360                                  | 1293-1334/<br>1274-1356 | 1430-1580 |      |
| <b>Передатчик в опорной точке S</b>                                                          |         | FP                                         | LED                     | FP        | DFB  |
| Тип источника                                                                                |         |                                            |                         |           |      |
| Спектральные характеристики:                                                                 |         |                                            |                         |           |      |
| – максимальное СКЗ ширины (Δλ)                                                               | нм      | 14,5                                       | 35                      | 4/2,5     | -    |
| – максимальная ширина на уровне<br>-20 дБ                                                    | нм      | -                                          | -                       | -         | 1    |
| – минимальный коэффициент<br>подавления боковой моды                                         | дБ      | -                                          | -                       | -         | 30   |
| Средняя вводимая мощность:                                                                   |         |                                            |                         |           |      |
| – максимальная                                                                               | дБм     | -8                                         | -8                      | -8        | -8   |
| – минимальная                                                                                | дБм     | -15                                        | -15                     | -15       | -15  |
| Мин. коэффициент гашения                                                                     | дБ      | 8,2                                        | 8,2                     | 8,2       | 8,2  |
| <b>Оптический тракт между S и R</b>                                                          |         |                                            |                         |           |      |
| Диапазон ослабления                                                                          | дБ      | 0-7                                        | 0-12                    | 0-12      | 0-12 |
| Максим. дисперсия                                                                            | пс/нм   | 13                                         | 14                      | 46/74     | H/O  |
| Минимальные оптические<br>возвратные потери на кабельном<br>участке в S, включая соединители | дБ      | H/O                                        | H/O                     | H/O       | 24   |
| Максимальная дискретная<br>отражательная способность между<br>S и R                          | дБ      | H/O                                        | H/O                     | H/O       | -27  |
| <b>Приемник в опорной точке R</b>                                                            |         |                                            |                         |           |      |
| Минимальная чувствительность                                                                 | дБм     | -23                                        | -28                     | -28       | -28  |
| Минимальная перегрузка                                                                       | дБм     | -8                                         | -8                      | -8        | -8   |
| Максимальный штраф оптического<br>тракта                                                     | дБ      | 1                                          | 1                       | 1         | 1    |
| Максимальная отражательная<br>способность, измеренная в R                                    | дБ      | H/O                                        | H/O                     | H/O       | -27  |

**Таблица П1.4. Характеристики STM-4**

| Характеристики                                                                                        | Единица | Значение                                   |               |               |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Цифровой сигнал,<br>скорость передачи,<br>линейное кодирование                                        | кбит/с  | STM-4,<br>622 080,<br>скремблированный NRZ |               |               |               |
| Прикладной код                                                                                        |         | L-4.1                                      |               | L-4.2         | L-4.3         |
| Рабочий диапазон волн                                                                                 | нм      | 1300-<br>1325/<br>1296-<br>1330            | 1280-<br>1335 | 1480-<br>1580 | 1480-<br>1580 |
| <b>Передатчик в опорной точке S</b>                                                                   |         | FP                                         | DFB           | DFB           | DFB           |
| Тип источника                                                                                         |         |                                            |               |               |               |
| Спектральные характеристики:                                                                          |         |                                            |               |               |               |
| – максимальное СКЗ ширины ( $\Delta\lambda$ )                                                         | нм      | 2,0/1,7                                    | -             | -             | -             |
| – максимальная ширина на уровне<br>-20 дБ                                                             | нм      | -                                          | 1             | <1            | 1             |
| – минимальный коэффициент<br>подавления боковой моды                                                  | дБ      | -                                          | 30            | 30            | 30            |
| Средняя вводимая мощность:                                                                            |         |                                            |               |               |               |
| – максимальная                                                                                        | дБм     | +2                                         |               | +2            | +2            |
| – минимальная                                                                                         | дБм     | -3                                         |               | -3            | -3            |
| Мин. коэффициент гашения                                                                              | дБ      | 10                                         |               | 10            | 10            |
| <b>Оптический тракт между S и R</b>                                                                   |         |                                            |               |               |               |
| Диапазон ослабления                                                                                   | дБ      | 10-24                                      |               | 10-24         | 10-24         |
| Максим. дисперсия                                                                                     | пс/нм   | 92/109                                     | H/O           | 1600          | H/O           |
| Минимальные оптические<br>возвратные потери на кабельном<br>участке в S, включая любые<br>соединители | дБ      | 20                                         |               | 24            | 20            |
| Максимальная дискретная<br>отражательная способность между<br>S и R                                   | дБ      | -25                                        |               | -25           | -25           |
| <b>Приемник в опорной точке R</b>                                                                     |         |                                            |               |               |               |
| Минимальная чувствительность                                                                          | дБм     | -28                                        |               | -28           | -28           |
| Минимальная перегрузка                                                                                | дБм     | -8                                         |               | -8            | -8            |
| Максимальный штраф оптического<br>тракта                                                              | дБ      | 1                                          |               | 1             | 1             |
| Максимальная отражательная<br>способность, измеренная в R                                             | дБ      | -14                                        |               | -27           | -14           |

Таблица П1.5. Характеристики STM-4

| Характеристики                                                                             | Единица       | Значение                                    |               |               |               |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Цифровой сигнал,<br>скорость передачи,<br>линейное кодирование                             | кбит/с        | STM-4,<br>622 080 ,<br>скремблированный NRZ |               |               |               |               |
| Прикладной код                                                                             |               | V-4.1                                       | V-4.2         | V-4.3         | U-4.2         | U-4.3         |
| Рабочий диапазон волн                                                                      | нм            | 1290-<br>1330                               | 1530-<br>1565 | 1530-<br>1565 | 1530-<br>1565 | 1530-<br>1565 |
| <b>Передатчик в опорной точке MPI-S</b>                                                    |               |                                             |               |               |               |               |
| Тип источника                                                                              |               | ОМЛ                                         | ОМЛ           | ОМЛ           | ОМЛ           | ОМЛ           |
| Спектральные характеристики:                                                               |               |                                             |               |               |               |               |
| – параметр линейной частотной модуляции                                                    | Рад           | Н/О                                         | Н/О           | Н/О           | Н/О           | Н/О           |
| – максимальная ширина на уровне –20 дБ                                                     | нм            | Н/О                                         | Н/О           | Н/О           | Н/О           | Н/О           |
| – минимальный коэффициент подавления боковой моды                                          | дБ            | Н/О                                         | Н/О           | Н/О           | Н/О           | Н/О           |
| – максимальная спектральная плотность мощности                                             | мВт/<br>10МГц | Н/О                                         | Н/О           | Н/О           | Н/О           | Н/О           |
| Средняя вводимая мощность:                                                                 |               |                                             |               |               |               |               |
| – максимальная                                                                             | дБм           | 4                                           | 4             | 4             | 15            | 15            |
| – минимальная                                                                              | дБм           | 0                                           | 0             | 0             | 12            | 12            |
| Мин. коэффициент гашения                                                                   | дБ            | 10                                          | 10            | 10            | 10            | 10            |
| <b>Оптический тракт между MPI-S и MPI-R</b>                                                |               |                                             |               |               |               |               |
| Диапазон ослабления                                                                        | дБ            | 22-33                                       | 22-33         | 22-33         | 33-44         | 33-44         |
| Максимальная дисперсия                                                                     | пс/нм         | 200                                         | 2400          | 400           | 3200          | 530           |
| Минимальная дисперсия                                                                      | пс/нм         | Н/О                                         | Н/О           | Н/О           | Н/О           | Н/О           |
| Максимальная ДГВЗ                                                                          | пс            | 480                                         | 480           | 480           | 480           | 480           |
| Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в MPI-S, включая соединители | дБ            | 24                                          | 24            | 24            | 24            | 24            |
| Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S и MPI-R                      | дБ            | -27                                         | -27           | -27           | -27           | -27           |
| <b>Приемник в опорной точке MPI-R</b>                                                      |               |                                             |               |               |               |               |
| Минимальная чувствительность (коэффициент ошибок $10^{-12}$ )                              | дБм           | -34                                         | -34           | -34           | -34           | -33           |
| Минимальная перегрузка                                                                     | дБм           | -18                                         | -18           | -18           | -18           | -18           |
| Максимальный штраф оптического тракта                                                      | дБ            | 1                                           | 1             | 1             | 2             | 1             |
| Максимальная отражательная способность, измеренная в MPI-R                                 | дБ            | -27                                         | -27           | -27           | -27           | -27           |

Сокращения: ОМЛ, одномодовый лазер; Н/О - не определено (смотреть характеристики от производителя); ДГВЗ, дифференциальное групповое время задержки. В интерфейсах U-4.2 и U-4.3 может применяться оптический предусилитель.

Таблица П1.6. Характеристики STM-16

| Характеристики                                                                                  | Единица | Значение                                      |            |        |        |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------|------------|--------|--------|-------------------|
| Цифровой сигнал,<br>скорость передачи,<br>линейное кодирование                                  | кбит/с  | STM-16,<br>2 488 320,<br>скремблированный NRZ |            |        |        |                   |
| Прикладной код                                                                                  |         | I-16                                          | S-<br>16.1 | S-16.2 | L-16.1 | L-16.2/<br>L-16.3 |
| Рабочий диапазон волн                                                                           | нм      |                                               |            |        |        |                   |
| <b>Передатчик в опорной точке S</b>                                                             |         | FP                                            | DFB        | DFB    | DFB    | DFB               |
| Тип источника                                                                                   |         |                                               |            |        |        |                   |
| Спектральные характеристики:                                                                    |         |                                               |            |        |        |                   |
| – макс. СКЗ ширины ( $\Delta\lambda$ )                                                          | нм      | 4                                             | -          | -      | -      | -                 |
| – максимальная ширина на<br>уровне -20 дБ                                                       | нм      | -                                             | 1          | <1     | 1      | <1                |
| – минимальный коэффициент<br>подавления боковой моды                                            | дБ      | -                                             | 30         | 30     | 30     | 30                |
| Средняя вводимая мощность:                                                                      |         |                                               |            |        |        |                   |
| – максимальная                                                                                  | дБм     | -3                                            | 0          | 0      | +3     | +3                |
| – минимальная                                                                                   | дБм     | -10                                           | -5         | -2     | -2     | -2                |
| Мин. коэффициент гашения                                                                        | дБ      | 8,2                                           | 8,2        | 8,2    | 8,2    | 8,2               |
| <b>Оптический тракт между S и R</b>                                                             |         |                                               |            |        |        |                   |
| Диапазон ослабления                                                                             | дБ      | 0-7                                           | 0-12       | 0-12   | 12-24  | 12-24             |
| Максимальная дисперсия на<br>верхнем пределе длины волны                                        | пс/нм   | 12                                            | H/O        | 800    | H/O    | 1600/<br>450      |
| Максимальная дисперсия на<br>нижнем пределе длины волны                                         | пс/нм   | 12                                            | H/O        | 420    | H/O    | 1200/<br>450      |
| Минимальные оптические<br>возвратные потери на<br>кабельном участке в S, включая<br>соединители | дБ      | 24                                            | 24         | 24     | 24     | 24                |
| Максимальная дискретная<br>отражательная способность<br>между S и R                             | дБ      | -27                                           | -27        | -27    | -27    | -27               |
| <b>Приемник в опорной точке R</b>                                                               |         |                                               |            |        |        |                   |
| Минимальная чувствительность                                                                    | дБм     | -18                                           | -18        | -18    | -27    | -28/-27           |
| Минимальная перегрузка                                                                          | дБм     | -3                                            | 0          | 0      | -9     | -9                |
| Максимальный штраф<br>оптического тракта                                                        | дБ      | 1                                             | 1          | 1      | 1      | 2/1               |
| Максимальная отражательная<br>способность, измеренная в R                                       | дБ      | -27                                           | -27        | -27    | -27    | -27               |

Таблица П1.7. Характеристики STM-16

| Характеристики                                                                             | Единица       | Значение                                      |               |                     |                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------|---------------|---------------------|-------------------------|
| Цифровой сигнал,<br>скорость передачи,<br>линейное кодирование                             | кбит/с        | STM-16,<br>2 488 320,<br>скремблированный NRZ |               |                     |                         |
| Прикладной код                                                                             |               | V-<br>16.2                                    | V-<br>16.3    | U-16.2/<br>P1U1-1A2 | U-16.3/<br>P1U1-<br>1A3 |
| Рабочий диапазон волн                                                                      | нм            | 1530-<br>1565                                 | 1530-<br>1565 | 1530-1565           | 1530-<br>1565           |
| <b>Передатчик в опорной точке MPI-S</b>                                                    |               |                                               |               |                     |                         |
| Тип источника                                                                              |               | ОМЛ                                           | ОМЛ           | ОМЛ                 | ОМЛ                     |
| Спектральные характеристики:                                                               |               |                                               |               |                     |                         |
| – параметр линейной частотной модуляции                                                    | рад           | Н/О                                           | Н/О           | Н/О                 | Н/О                     |
| – максимальная ширина на уровне –20 дБ                                                     | нм            | Н/О                                           | Н/О           | Н/О                 | Н/О                     |
| – минимальный коэффициент подавления боковой моды                                          | дБ            | Н/О                                           | Н/О           | 30                  | 30                      |
| – максимальная спектральная плотность мощности                                             | мВт/<br>10МГц | Н/О                                           | Н/О           | Н/О                 | Н/О                     |
| Средняя вводимая мощность:                                                                 |               |                                               |               |                     |                         |
| – максимальная                                                                             | дБм           | +13                                           | +13           | +15                 | +15                     |
| – минимальная                                                                              | дБм           | +10                                           | +10           | +12                 | +12                     |
| Мин. коэффициент гашения                                                                   | дБ            | 8,2                                           | 8,2           | 8,2                 | 8,2                     |
| <b>Оптический тракт между MPI-S и MPI-R</b>                                                |               |                                               |               |                     |                         |
| Диапазон ослабления                                                                        | дБ            | 22-33                                         | 22-33         | 33-44               | 33-44                   |
| Максимальная дисперсия                                                                     | пс/нм         | 2400                                          | 400           | 3200                | 530                     |
| Минимальная дисперсия                                                                      | пс/нм         | Н/О                                           | Н/О           | Н/О                 | Н/О                     |
| Максимальная ДГВЗ                                                                          | пс            | 120                                           | 120           | 120                 | 120                     |
| Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в MPI-S, включая соединители | дБ            | 24                                            | 24            | 24                  | 24                      |
| Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S и MPI-R                      | дБ            | -27                                           | -27           | -27                 | -27                     |
| <b>Приемник в опорной точке MPI-R</b>                                                      |               |                                               |               |                     |                         |
| Минимальная чувствительность (коэффициент ошибок $10^{-12}$ )                              | дБм           | -25                                           | -24           | -34                 | -33                     |
| Минимальная перегрузка                                                                     | дБм           | -9                                            | -9            | -18                 | -18                     |
| Максимальный штраф оптического тракта                                                      | дБ            | 1                                             | 1             | 2                   | 1                       |
| Максимальная отражательная способность, измеренная в MPI-R                                 | дБ            | -27                                           | -27           | -27                 | -27                     |

Примечание: характеристики ряда одноволновых (одноканальных) оптических интерфейсов (STM-16, 64 и 256) определены в рекомендации G.959.1.

Таблица П1.8. Характеристики STM-64

| Характеристики                                                                             | Единица       | Значение                                      |               |               |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Цифровой сигнал,<br>скорость передачи,<br>линейное кодирование                             | кбит/с        | STM-64,<br>9 953 280,<br>скремблированный NRZ |               |               |               |
| Прикладной код                                                                             |               | L-64.2a                                       | L-64.2b       | L-64.2c       | L-64.3        |
| Рабочий диапазон волн                                                                      | нм            | 1530-<br>1565                                 | 1530-<br>1565 | 1530-<br>1565 | 1530-<br>1565 |
| <b>Передатчик в опорной точке MPI-S</b>                                                    |               |                                               |               |               |               |
| Тип источника                                                                              |               | ОМЛ                                           | ОМЛ           | ОМЛ           | ОМЛ           |
| Спектральные характеристики:                                                               |               |                                               |               |               |               |
| – параметр линейной частотной модуляции                                                    | рад           | Н/О                                           | Н/О           | Н/О           | Н/О           |
| – максимальная ширина на уровне –20 дБ                                                     | нм            | Н/О                                           | Н/О           | Н/О           | Н/О           |
| – минимальный коэффициент подавления боковой моды                                          | дБ            | Н/О                                           | Н/О           | 30            | 30            |
| – максимальная спектральная плотность мощности                                             | мВт/<br>10МГц | Н/О                                           | Н/О           | Н/О           | Н/О           |
| Средняя вводимая мощность:                                                                 |               |                                               |               |               |               |
| – максимальная                                                                             | дБм           | +2                                            | +13           | +2            | +13           |
| – минимальная                                                                              | дБм           | -2                                            | +10           | -2            | +10           |
| Мин. коэффициент гашения                                                                   | дБ            | 10                                            | 8,2           | 10            | 8,2           |
| <b>Оптический тракт между MPI-S и MPI-R</b>                                                |               |                                               |               |               |               |
| Диапазон ослабления                                                                        | дБ            | 11-22                                         | 16-22         | 11-22         | 16-22         |
| Максимальная дисперсия                                                                     | пс/нм         | 1600                                          | 1600          | 1600          | 260           |
| Минимальная дисперсия                                                                      | пс/нм         | Н/О                                           | Н/О           | Н/О           | Н/О           |
| Максимальная ДГВЗ                                                                          | пс            | 30                                            | 30            | 30            | 30            |
| Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в MPI-S, включая соединители | дБ            | 24                                            | 24            | 24            | 24            |
| Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S и MPI-R                      | дБ            | -27                                           | -27           | -27           | -27           |
| <b>Приемник в опорной точке MPI-R</b>                                                      |               |                                               |               |               |               |
| Минимальная чувствительность (коэффициент ошибок $10^{-12}$ )                              | дБм           | -26                                           | -14           | -26           | -13           |
| Минимальная перегрузка                                                                     | дБм           | -9                                            | -3            | -9            | -3            |
| Максимальный штраф оптического тракта                                                      | дБ            | 2                                             | 2             | 2             | 1             |
| Максимальная отражательная способность, измеренная в MPI-R                                 | дБ            | -27                                           | -27           | -27           | -27           |

Примечание: характеристики ряда одноканальных оптических интерфейсов I-64.1r, I-64.1, I-64.2r, I-64.2, I-64.3, I-64.5, S-64.1, S-64.2a, S-64.2b, S-64.3a, S-64.3b, S-64.5a, S-64.5b определены в рекомендации G.959.1.

Таблица П1.9. Характеристики STM-64

| Характеристики                                                                             | Единица       | Значение                                      |           |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------|-----------|-----------|
| Цифровой сигнал,<br>скорость передачи,<br>линейное кодирование                             | кбит/с        | STM-64,<br>9 953 280,<br>скремблированный NRZ |           |           |
| Прикладной код                                                                             |               | V-64.2a                                       | V-64.2b   | V-64.3    |
| Рабочий диапазон волн                                                                      | нм            | 1530-1565                                     | 1530-1565 | 1530-1565 |
| <b>Передатчик в опорной точке MPI-S</b>                                                    |               |                                               |           |           |
| Тип источника                                                                              |               | ОМЛ                                           | ОМЛ       | ОМЛ       |
| Спектральные характеристики:                                                               |               |                                               |           |           |
| – параметр линейной частотной модуляции                                                    | рад           | Н/О                                           | Н/О       | Н/О       |
| – максимальная ширина на уровне –20 дБ                                                     | нм            | Н/О                                           | Н/О       | Н/О       |
| – минимальный коэффициент подавления боковой моды                                          | дБ            | Н/О                                           | Н/О       | 30        |
| – максимальная спектральная плотность мощности                                             | мВт/<br>10МГц | Н/О                                           | Н/О       | Н/О       |
| Средняя вводимая мощность:                                                                 |               |                                               |           |           |
| – максимальная                                                                             | дБм           | +13                                           | +15       | +13       |
| – минимальная                                                                              | дБм           | +10                                           | +12       | +10       |
| Мин. коэффициент гашения                                                                   | дБ            | 10                                            | 8,2       | 8,2       |
| <b>Оптический тракт между MPI-S и MPI-R</b>                                                |               |                                               |           |           |
| Диапазон ослабления                                                                        | дБ            | 22-33                                         | 22-33     | 22-33     |
| Максимальная дисперсия                                                                     | пс/нм         | 2400                                          | 2400      | 400       |
| Минимальная дисперсия                                                                      | пс/нм         | Н/О                                           | Н/О       | Н/О       |
| Максимальная ДГВЗ                                                                          | пс            | 30                                            | 30        | 30        |
| Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в MPI-S, включая соединители | дБ            | 24                                            | 24        | 24        |
| Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S и MPI-R                      | дБ            | -27                                           | -27       | -27       |
| <b>Приемник в опорной точке MPI-R</b>                                                      |               |                                               |           |           |
| Минимальная чувствительность (коэффициент ошибок $10^{-12}$ )                              | дБм           | -25                                           | -23       | -24       |
| Минимальная перегрузка                                                                     | дБм           | -9                                            | -7        | -9        |
| Максимальный штраф оптического тракта                                                      | дБ            | 2                                             | 2         | 1         |
| Максимальная отражательная способность, измеренная в MPI-R                                 | дБ            | -27                                           | -27       | -27       |

Примечание: характеристики ряда одноканальных оптических интерфейсов STM-64 (I-64.1r, I-64.1, I-64.2r, I-64.2, I-64.3, I-64.5, S-64.1, S-64.2a, S-64.2b, S-64.3a, S-64.3b, S-64.5a, S-64.5b) и STM-256 определены в рекомендации G.959.1.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ G.695

Таблица П2.1. Характеристики 4-х канальных интерфейсов короткой линии

| Характеристики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Едини-<br>цы                                                   | Типы интерфейсов                                                                                                                                                               |                                                   |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                | C4S1-<br>1D2                                                                                                                                                                   | C4S1-1D3                                          | C4S1-1D5 |
| <b>Общая информация:</b><br>-максимальное число каналов<br>-битовая скорость/линейное кодир.<br>-максимальная битовая ошибка<br>_тип волокна                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | -<br>-<br>-                                                    | G.652                                                                                                                                                                          | 4<br>2,5Гбит/с, NRZ<br>10 <sup>-12</sup><br>G.653 | G.655    |
| <b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>м</sub>:</b><br>-максимальный уровень мощности на выходе канала<br>-минимальный уровень мощности на выходе канала<br>_максимальный общий уровень мощности на выходе<br>_центральная волна<br>_интервал между каналами<br>-максимальная девиация центральной волны<br>_минимальный коэффициент гашения                                                                                                           | дБм<br>дБм<br>дБм<br>нм<br>нм<br>нм<br>дБ                      | +4,5<br>-3,0<br>+10,5<br>1511+20m m=0...3<br>20<br>±6,5<br>8,2                                                                                                                 |                                                   |          |
| <b>Оптический тракт (один интервал) от точки MPI-S<sub>м</sub> до точки MPI-R<sub>м</sub>:</b><br>-максимальное затухание<br>-минимальное затухание<br>-диапазоны хроматической дисперсии<br>_1511нм<br>_1531нм<br>_1551нм<br>_1571нм<br>-минимальные оптические возвратные потери MPI-S <sub>м</sub><br>-максимальное дискретное отражение между MPI-S <sub>м</sub> и MPI-R <sub>м</sub><br>_максимальная дифференциальная групповая задержка | дБ<br>дБ<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>дБ<br>дБ<br>пс | 10,5<br>4<br>0...+719   -250...+39   0...+323<br>0...+775   -169...+83   0...+371<br>0...+833   -124...+128   0...+420<br>0...+890   -79...+177   0...+470<br>24<br>-27<br>120 |                                                   |          |
| <b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>м</sub>:</b><br>-максимальный уровень мощности на входе канала<br>-минимальный уровень мощности на входе канала<br>_максимальный общий уровень мощности на входе<br>_максимальный штраф оптического тракта<br>-минимальная эквивалентная чувствительность<br>_максимальное отражение оптического сетевого элемента                                                                                              | дБм<br>дБм<br>дБм<br>дБ<br>дБм<br>дБ                           | +0,5<br>-13,5<br>+6,5<br>1,5<br>-15<br>-27                                                                                                                                     |                                                   |          |

**Таблица П2.2. Характеристики 4-х канальных интерфейсов длинной линии**

| Характеристики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Едини-<br>цы                                                   | Типы интерфейсов                                                                                                                                                                                                  |          |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                | C4L1-1D2                                                                                                                                                                                                          | C4L1-1D3 | C4L1-1D5 |
| <b>Общая информация:</b><br>-максимальное число каналов<br>-битовая скорость/линейное кодир.<br>-максимальная битовая ошибка<br>-тип волокна                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | -<br>-<br>-                                                    | 4<br>2,5Гбит/с, NRZ<br>$10^{-12}$<br>G.652      G.653      G.655                                                                                                                                                  |          |          |
| <b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>м</sub>:</b><br>-максимальный уровень мощности на выходе канала<br>-минимальный уровень мощности на выходе канала<br>_максимальный общий уровень мощности на выходе<br>_центральная волна<br>_интервал между каналами<br>_максимальная девиация центральной волны<br>-минимальный коэффициент гашения                                                                                                           | дБм<br>дБм<br>дБм<br>нм<br>нм<br>нм<br>дБ                      | +4,5<br>-3,0<br>+10,5<br>1511+20m m=0...3<br>20<br>$\pm 6,5$<br>8,2                                                                                                                                               |          |          |
| <b>Оптический тракт от точки MPI-S<sub>м</sub> до точки MPI-R<sub>м</sub> (один интервал):</b><br>-максимальное затухание<br>-минимальное затухание<br>-диапазоны хроматической дисперсии<br>-1511нм<br>-1531нм<br>-1551нм<br>-1571нм<br>-минимальные оптические возвратные потери MPI-S <sub>м</sub><br>-максимальное дискретное отражение между MPI-S <sub>м</sub> и MPI-R <sub>м</sub><br>_максимальная дифференциальная групповая задержка | дБ<br>дБ<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>дБ<br>дБ<br>пс | 19,5      20,5      20<br>13<br>0...+1332    -490...+7739    0...+618<br>0...+1437    -331...+164    0...+711<br>0...+1544    -242...+251    0...+805<br>0...+1650    -155...+347    0...+900<br>24<br>-27<br>120 |          |          |
| <b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>м</sub>:</b><br>-максимальный уровень мощности на входе канала<br>-минимальный уровень мощности на входе канала<br>-максимальный общий уровень мощности на входе<br>_максимальный штраф оптического тракта<br>_минимальная эквивалентная чувствительность<br>_максимальное отражение оптического сетевого элемента                                                                                              | дБм<br>дБм<br>дБм<br>дБ<br>дБм<br>дБ                           | -8,5<br>-22,5    -23,5    23<br>-2,5<br>2,5      1,5      2<br>-25<br>-27                                                                                                                                         |          |          |

**Таблица П2.3. Характеристики двунаправленных 4-х канальных интерфейсов  
длинной линии**

| Характеристики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Едини-<br>цы                                                   | Типы интерфейсов                                                                                                  |                                                                                                                   |                                                                                                                   |                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                | BC4L1-<br>-0D2                                                                                                    | BC4L1-<br>0D3                                                                                                     | BC4L1-<br>1D2                                                                                                     | BC4L1-<br>-1D3                                                                                                    |
| <b>Общая информация:</b><br>_максимальное число каналов<br>_битовая скорость/линейное кодир.<br>_максимальная битовая ошибка<br>_тип волокна                                                                                                                                                                                                                                                                               | -<br>-<br>-<br>-                                               | 2+2<br>1,25Гбит/с, NRZ<br>10 <sup>-12</sup><br>G.652                                                              | 2+2<br>2,5Гбит/с, NRZ<br>10 <sup>-12</sup><br>G.653                                                               | 2+2<br>2,5Гбит/с, NRZ<br>10 <sup>-12</sup><br>G.652                                                               | 2+2<br>2,5Гбит/с, NRZ<br>10 <sup>-12</sup><br>G.653                                                               |
| <b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>м</sub>:</b><br>_максимальный уровень мощности на выходе канала<br>_минимальный уровень мощности на выходе канала<br>_максимальный общий уровень мощности на выходе<br>_центральная волна<br>_интервал между каналами<br>_максимальная девиация центральной волны<br>_мин. коэффициент гашения                                                                                              | дБм<br>дБм<br>дБм<br>нм<br>нм<br>нм<br>дБ                      | +5<br>0<br>+8<br>1511+20m(0....3)<br>20<br>±6,5<br>8,2                                                            | +5<br>0<br>+8<br>1511+20m (0..3)<br>20<br>±6,5<br>8,2                                                             | +5<br>0<br>+8<br>1511+20m (0..3)<br>20<br>±6,5<br>8,2                                                             | +5<br>0<br>+8<br>1511+20m (0..3)<br>20<br>±6,5<br>8,2                                                             |
| <b>Оптический тракт от точки MPI-S<sub>м</sub> до точки MPI-R<sub>м</sub>:</b><br>_максимальное затухание<br>_минимальное затухание<br>_диапазоны хроматич. дисперсии<br>_1511нм<br>_1531нм<br>_1551нм<br>_1571нм<br>-минимальные оптические возвратные потери MPI-S <sub>м</sub><br>-максимальное дискретное отражение между MPI-S <sub>м</sub> и MPI-R <sub>м</sub><br>_максимальная дифференциальная групповая задержка | дБ<br>дБ<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>дБ<br>дБ<br>пс | 25,5<br>12<br>0..1735 _610..95<br>0..1872 _412..204<br>0..2012 _302..312<br>0..2150 _193..432<br>24<br>_27<br>120 | 25,5<br>12<br>0..1735 _610..95<br>0..1872 _412..204<br>0..2012 _302..312<br>0..2150 _193..432<br>24<br>_27<br>120 | 22,5<br>12<br>0..1533 _560..88<br>0..1654 _378..187<br>0..1778 _277..396<br>0..1900 _177..396<br>24<br>_27<br>120 | 23,5<br>12<br>0..1533 _560..88<br>0..1654 _378..187<br>0..1778 _277..396<br>0..1900 _177..396<br>24<br>_27<br>120 |
| <b>Интерфейс в точке MPLR<sub>м</sub>:</b><br>на входе<br>_максимальный уровень мощности<br>_минимальный уровень мощности<br>_максимальный общий уровень<br>_максимальный штраф оптического тракта<br>_минимальная эквивалентная чувствительность<br>_максимальное отражение оптического сетевого элемента                                                                                                                 | дБм<br>дБм<br>дБм<br>дБ<br>дБм<br>дБ                           | -7<br>-25,5<br>_4<br>1,5<br>_27<br>_27                                                                            | -7<br>-25,5<br>_4<br>1,5<br>_27<br>_27                                                                            | -7<br>-22,5<br>_4<br>2,5<br>_25<br>_27                                                                            | -7<br>-23,5<br>_4<br>1,5<br>_25<br>_27                                                                            |

**Таблица П2.4. Характеристики 8-ми канальных интерфейсов**

| Характеристики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Едини-<br>цы                                                                                       | Типы интерфейсов                                                                               |                                                                                                |                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                    | C8S1-<br>1D2                                                                                   | B-C8S1-<br>1D3                                                                                 | C8L1-<br>1D2                                                                                                                |
| <b>Общая информация:</b><br>-максимальное число каналов<br>-битовая скорость/линейное кодир.<br>-максимальная битовая ошибка<br>-тип волокна                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | -<br>-<br>-                                                                                        | 8                                                                                              | 4+4<br>2,5Гбит/с, NRZ<br>10 <sup>-12</sup><br>G.652                                            | 8                                                                                                                           |
| <b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>м</sub>:</b><br>-максимальный уровень мощности на выходе канала<br>-минимальный уровень мощности на выходе канала<br>_максимальный общий уровень мощности на выходе<br>_центральная волна<br>_интервал между каналами<br>_максимальная девиация центральной волны<br>-минимальный коэффициент гашения                                                                                                                                                       | дБм<br>дБм<br>дБм<br>нм<br>нм<br>нм<br>дБ                                                          | +4,<br>-3,5<br>+13      +10      +13<br>1511+20m (m=0...7)<br>20<br>±6,5<br>8,2                |                                                                                                |                                                                                                                             |
| <b>Оптический тракт (один интервал) от точки MPI-S<sub>м</sub> до точки MPI-R<sub>м</sub>:</b><br>-максимальное затухание<br>-минимальное затухание<br>-диапазоны хроматической дисперсии<br>-1471нм<br>-1491нм<br>-1511нм<br>-1531нм<br>-1551нм<br>-1571нм<br>-1591нм<br>-1611нм<br>-минимальные оптические возвратные потери MPI-S <sub>м</sub><br>-максимальное дискретное отражение между MPI-S <sub>м</sub> и MPI-R <sub>м</sub><br>-максимальная дифференциальная групповая задержка | дБ<br>дБ<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>дБ<br>дБ<br>пс | 9<br>3<br>0...481<br>0...526<br>0...571<br>0...616<br>0...662<br>0...708<br>0...754<br>0...800 | 9<br>3<br>0...481<br>0...526<br>0...571<br>0...616<br>0...662<br>0...708<br>0...754<br>0...800 | 18<br>12<br>0...962<br>0...1051<br>0...1143<br>0...1233<br>0...1325<br>0...1416<br>0...1507<br>0...1600<br>24<br>-27<br>120 |
| <b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>м</sub>:</b><br>на входе канала<br>-максимальный уровень мощности<br>-минимальный уровень мощности<br>-максимальный общий уровень<br>-максимальный штраф оптического тракта<br>-минимальная эквивалентная чувствительность<br>-максимальное отражение оптического сетевого элемента                                                                                                                                                                         | дБм<br>дБм<br>дБм<br>дБ<br>дБм<br>дБ                                                               | +1<br>-12,5<br>+10<br>1,5<br>-14<br>-27                                                        | +1<br>-12,5<br>+7<br>1,5<br>-14<br>-27                                                         | -8<br>-21,5<br>+1<br>2,5<br>-24                                                                                             |

Таблица П2.5. Характеристики двунаправленных 8-ми канальных интерфейсов

| Характеристики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Ед.                                                                                                | Типы интерфейсов                                                                                                            |                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                    | B-C8L1-0D2                                                                                                                  | B-C8L1-1D2                                                                                             |
| <b>Общая информация:</b><br>-максимальное число каналов<br>-битовая скорость/линейное кодир.<br>-максимальная битовая ошибка<br>-тип волокна                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | -<br>-<br>-                                                                                        | 4+4<br>1,25Гбит/с, NRZ<br>$10^{-12}$<br>G.652                                                                               | 2,5Гбит/с, NRZ                                                                                         |
| <b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>м</sub>:</b><br>-максимальный уровень мощности на выходе канала<br>-минимальный уровень мощности на выходе канала<br>_максимальный общий уровень мощности на выходе<br>-центральная волна<br>_интервал между каналами<br>_максимальная девиация центральной волны<br>_минимальный коэффициент гашения                                                                                                                                                       | дБм<br>дБм<br>дБм<br>нм<br>нм<br>нм<br>дБ                                                          | +4,<br>-3,5<br>+10<br>1471+20m (m=0...7)<br>20<br>$\pm 6,5$<br>8,2                                                          |                                                                                                        |
| <b>Оптический тракт (один интервал) от точки MPI-S<sub>м</sub> до точки MPI-R<sub>м</sub>:</b><br>-максимальное затухание<br>-минимальное затухание<br>-диапазоны хроматической дисперсии<br>-1471нм<br>-1491нм<br>-1511нм<br>-1531нм<br>-1551нм<br>-1571нм<br>-1591нм<br>-1611нм<br>-минимальные оптические возвратные потери MPI-S <sub>м</sub><br>-максимальное дискретное отражение между MPI-S <sub>м</sub> и MPI-R <sub>м</sub><br>_максимальная дифференциальная групповая задержка | дБ<br>дБ<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>дБ<br>дБ<br>пс | 21<br>3<br>0...1118<br>0...1222<br>0...1328<br>0...1433<br>0...1540<br>0...1646<br>0...1752<br>0...1860<br>24<br>-27<br>120 | 18<br>3<br>0...962<br>0...1051<br>0...1143<br>0...1233<br>0...1325<br>0...1416<br>0...1507<br>0...1600 |
| <b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>м</sub>:</b><br>на входе канала<br>-максимальный уровень мощности<br>-минимальный уровень мощности<br>-максимальный общий уровень<br>-максимальный штраф оптического тракта<br>-минимальная эквивалентная чувствительность<br>-максимальное отражение оптического сетевого элемента                                                                                                                                                                         | дБм<br>дБм<br>дБм<br>дБ<br>дБм<br>дБ                                                               | -8<br>-24,5<br>-2<br>1,5<br>-26<br>-27                                                                                      | -21,5                                                                                                  |

Таблица П2.6. Характеристики двунаправленного 12-ти канального интерфейса

| Характеристики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Ед.                                                                                                                           | В-С12L1-1D2                                                                                                                                                                                                                                                             |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Волновой диапазон                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | нм                                                                                                                            | 1291-1351нм                                                                                                                                                                                                                                                             | 1471-1611нм |
| <b>Общая информация:</b><br>-максимальное число каналов<br>-битовая скорость/линейное кодир.<br>-максимальная битовая ошибка<br>-тип волокна                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | -<br>-<br>-                                                                                                                   | 6+6<br>2,5Гбит/с, NRZ<br>$10^{-12}$<br>G.652                                                                                                                                                                                                                            |             |
| <b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>м</sub>:</b><br>-максимальный уровень мощности на выходе канала<br>-минимальный уровень мощности на выходе канала<br>_максимальный общий уровень мощности на выходе<br>_центральная волна<br>_интервал между каналами<br>_макс. девиация центральной волны<br>-минимальный коэффициент гашения                                                                                                                                                                             | дБм<br>дБм<br>дБм<br>нм<br>нм<br>нм<br>дБ                                                                                     | +3,5                      +1,5<br>-4                              -6<br><br>+10,7<br>1291+20м (0...3)    1471+20м (0...7)<br>20<br>±6,5<br>8,2                                                                                                                          |             |
| <b>Оптический тракт (один интервал) от точки MPI-S<sub>м</sub> до точки MPI-R<sub>м</sub>:</b><br>-максимальное затухание<br>-минимальное затухание<br>-диапазоны хроматической дисперсии<br>-1291нм<br>1311нм<br>1331нм<br>1471нм<br>-1471нм<br>-1491нм<br>-1511нм<br>-1531нм<br>-1551нм<br>-1571нм<br>-1591нм<br>-1611нм<br>-миним. оптич. возвр. потери в MPIS <sub>м</sub><br>-максимальное дискретное отражение между MPI-S <sub>м</sub> и MPI-R <sub>м</sub><br>-максим. диффер. групповая задержка | дБ<br>дБ<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>пс/нм<br>дБ<br>дБ<br>пс | 18                                      12,8<br>11                                      7<br><br>-188...0<br>-91...+78<br>0...+163<br>0...+245<br>0...+619<br>0...+677<br>0...+736<br>0...+794<br>0...+853<br>0...+911<br>0...+970<br>0...+1030<br>24<br><br>-27<br>120 |             |
| <b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>м</sub>:</b><br>на входе канала<br>-максимальный уровень мощности<br>-минимальный уровень мощности<br>-максимальный общий уровень<br>-максимальный штраф оптич. тракта<br>-мин. эквивал. чувствительность<br>_макс. отражение оптического сетевого элемента                                                                                                                                                                                                                | дБм<br>дБм<br>дБм<br>дБ<br>дБм<br>дБ                                                                                          | -7,5                                      -5,5<br>-22                                      -18,8<br><br>+2,3<br>1                                              2<br>-23                                      -20,8<br><br>-27                                           |             |

**Таблица П2.7. Характеристики 16-ти канального интерфейса**

[illegible]

### Таблица П2.8. Характеристики 16-ти канального интерфейса

[illegible]

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОКАНАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ G.698.1

Таблица ПЗ.1. NRZ 2,5Гбит/с (100ГГц, короткая линия)

| Параметры                                                                 | Ед.   | DN100S-ID2(C)<br>DN100S-ID3(L)<br>DN100S-ID5(C) | DW100S-ID2(C)<br>DW100S-ID3(L)<br>DW100S-ID5(C) | DN100S-ID2(C)F<br>DN100S-ID3(L)F<br>DN100S-ID5(C)F | DW100S-ID2(C)F<br>DW100S-ID3(L)F<br>DW100S-ID5(C)F |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Общая информация</b>                                                   |       |                                                 |                                                 |                                                    |                                                    |
| Минимальный межканальный интервал                                         | ГГц   | 100                                             | 100                                             | 100                                                | 100                                                |
| Битовая скорость/ линейное кодирование                                    | -     | 2,5 Гбит/с<br>NRZ                               | 2,5 Гбит/с<br>NRZ                               | OTU1 FEC<br>NRZ                                    | OTU1 FEC<br>NRZ                                    |
| Максимальный коэффициент ошибок по битам                                  | -     | 10 <sup>-12</sup>                               | 10 <sup>-12</sup>                               | 10 <sup>-12</sup>                                  | 10 <sup>-12</sup>                                  |
| Тип волокна                                                               | -     | G.652,G.653,G.655                               | G.652,G.653,G.655                               | G.652,G.653,G.655                                  | G.652,G.653,G.655                                  |
| <b>Интерфейсная точка S<sub>s</sub></b>                                   |       |                                                 |                                                 |                                                    |                                                    |
| Максимальный уровень мощности на выходе канала                            | дБм   | +4                                              | +4                                              | +4                                                 | +4                                                 |
| Минимальный уровень мощности на выходе канала                             | дБм   | 0                                               | 0                                               | 0                                                  | 0                                                  |
| Минимальная центральная частота                                           | ТГц   | 191,5 для C<br>186,0 для L                      | 191,5 для C<br>186,0 для L                      | 191,5 для C<br>186,0 для L                         | 191,5 для C<br>186,0 для L                         |
| Макс. центральная частота                                                 | ТГц   | 196,2 для C<br>191,5 для L                      | 196,2 для C<br>191,5 для L                      | 196,2 для C<br>191,5 для L                         | 196,2 для C<br>191,5 для L                         |
| Макс. спектральное отклонение                                             | ГГц   | ±12,5   ±20                                     | ±12,5   ±20                                     | ±12,5   ±20                                        | ±12,5   ±20                                        |
| Мин. подавление боковой моды                                              | дБ    | 30                                              | 30                                              | 30                                                 | 30                                                 |
| Мин. коэффициент гашения                                                  | дБ    | 8,2                                             | 8,2                                             | 8,2                                                | 8,2                                                |
| Маска импульса                                                            |       | G.959.1                                         | G.959.1                                         | G.959.1                                            | G.959.1                                            |
| <b>Оптический тракт от S<sub>s</sub> до R<sub>s</sub></b>                 |       |                                                 |                                                 |                                                    |                                                    |
| Макс. потери, вносимые в канал                                            | дБ    | 16,5                                            | 16,5                                            | 19,5                                               | 19,5                                               |
| Мин. потери, вносимые в канал                                             | дБ    | 4                                               | 4                                               | 4                                                  | 4                                                  |
| Максимальный риппл                                                        | дБ    | 2                                               | 2                                               | 2                                                  | 2                                                  |
| Максим. хроматическая дисперсия                                           | пс/нм | 950                                             | 950                                             | 1200                                               | 1200                                               |
| Минимальные оптические возвратные потери                                  | дБ    | 24                                              | 24                                              | 24                                                 | 24                                                 |
| Макс. дискретная отраж. способность между S <sub>s</sub> и R <sub>s</sub> | дБ    | -27                                             | -27                                             | -27                                                | -27                                                |
| Макс. дифференциальная групповая задержка                                 | пс    | 120                                             | 120                                             | 120                                                | 120                                                |
| Макс. межканальные перекрёстные влияния                                   | дБ    | -15                                             | -15                                             | -15                                                | -15                                                |
| Макс. интерферометрические перекрёстные влияния                           | дБ    | -45                                             | -45                                             | -45                                                | -45                                                |
| <b>Интерфейсная точка R<sub>s</sub></b>                                   |       |                                                 |                                                 |                                                    |                                                    |
| Максимальный уровень мощности канала на входе                             | дБм   | 0                                               | 0                                               | 0                                                  | 0                                                  |
| Минимальный уровень чувствительности                                      | дБм   | -18                                             | -18                                             | -21                                                | -21                                                |
| Макс. штраф оптического тракта                                            | дБ    | 1,5                                             | 1,5                                             | 1,5                                                | 1,5                                                |
| Макс. потери отражения на приёме                                          | дБ    | -27                                             | -27                                             | -27                                                | -27                                                |

**Таблица ПЗ.2. NRZ 2,5Гбит/с (100ГГц, длинная линия)**

| Параметры                                                                        | Ед.   | DN100L-ID2(C)<br>DN100L-ID3(L)<br>DN100L-ID5(C) | DW100L-ID2(C)<br>DW100L-ID3(L)<br>DW100L-ID5(C) | DN100L-ID2(C/F)<br>DN100L-ID3(L/F)<br>DN100L-ID5(C/F) | DW100L-ID2(C/F)<br>DW100L-ID3(L/F)<br>DW100L-ID5(C/F) |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Общая информация</b>                                                          |       |                                                 |                                                 |                                                       |                                                       |
| Минимальный межканальный интервал                                                | ГГц   | 100                                             | 100                                             | 100                                                   | 100                                                   |
| Битовая скорость/ линейное кодирование                                           | -     | 2,5 Гбит/с<br>NRZ                               | 2,5 Гбит/с<br>NRZ                               | OTU1 FEC<br>NRZ                                       | OTU1 FEC<br>NRZ                                       |
| Максимальный коэффициент ошибок по битам                                         | -     | 10 <sup>-12</sup>                               | 10 <sup>-12</sup>                               | 10 <sup>-12</sup>                                     | 10 <sup>-12</sup>                                     |
| Тип волокна                                                                      | -     | G.652,G.653,G.655                               | G.652,G.653,G.655                               | G.652,G.653,G.655                                     | G.652,G.653,G.655                                     |
| <b>Интерфейсная точка S<sub>s</sub></b>                                          |       |                                                 |                                                 |                                                       |                                                       |
| Максимальный уровень мощности на выходе канала                                   | дБм   | +4                                              | +4                                              | +4                                                    | +4                                                    |
| Минимальный уровень мощности на выходе канала                                    | дБм   | 0                                               | 0                                               | 0                                                     | 0                                                     |
| Минимальная центральная частота                                                  | ТГц   | 191,5 для С<br>186,0 для L                      | 191,5 для С<br>186,0 для L                      | 191,5 для С<br>186,0 для L                            | 191,5 для С<br>186,0 для L                            |
| Макс. центральная частота                                                        | ТГц   | 196,2 для С<br>191,5 для L                      | 196,2 для С<br>191,5 для L                      | 196,2 для С<br>191,5 для L                            | 196,2 для С<br>191,5 для L                            |
| Макс. спектральное отклонение                                                    | ГГц   | ±12,5   ±20                                     | ±12,5   ±20                                     | ±12,5   ±20                                           | ±12,5   ±20                                           |
| Мин. подавление боковой моды                                                     | дБ    | 30                                              | 30                                              | 30                                                    | 30                                                    |
| Мин. коэффициент гашения                                                         | дБ    | 8,2                                             | 8,2                                             | 8,2                                                   | 8,2                                                   |
| Маска импульса                                                                   |       | G.959.1                                         | G.959.1                                         | G.959.1                                               | G.959.1                                               |
| <b>Оптический тракт от S<sub>s</sub> до R<sub>s</sub></b>                        |       |                                                 |                                                 |                                                       |                                                       |
| Макс. потери, вносимые в канале                                                  | дБ    | 25,5                                            | 25,5                                            | 28,5                                                  | 28,5                                                  |
| Мин. потери, вносимые в канал                                                    | дБ    | 13                                              | 13                                              | 13                                                    | 13                                                    |
| Максимальный риппл                                                               | дБ    | 2                                               | 2                                               | 2                                                     | 2                                                     |
| Макс. хроматическая дисперсия                                                    | пс/нм | 1400                                            | 1400                                            | 1600                                                  | 1600                                                  |
| Минимальные оптические возвратные потери                                         | дБ    | 24                                              | 24                                              | 24                                                    | 24                                                    |
| Максимальная дискретная отраж. способность между S <sub>s</sub> и R <sub>s</sub> | дБ    | -27                                             | -27                                             | -27                                                   | -27                                                   |
| Макс. дифференциальная групповая задержка                                        | пс    | 120                                             | 120                                             | 120                                                   | 120                                                   |
| Максимальные межканальные перекрёстные влияния                                   | дБ    | -16                                             | -16                                             | -16                                                   | -16                                                   |
| Макс. интерферометрические перекрёстные влияния                                  | дБ    | -45                                             | -45                                             | -45                                                   | -45                                                   |
| <b>Интерфейсная точка R<sub>s</sub></b>                                          |       |                                                 |                                                 |                                                       |                                                       |
| Максимальный уровень мощности канала на входе                                    | дБм   | -9                                              | -9                                              | -9                                                    | -9                                                    |
| Минимальный уровень чувствительности                                             | дБм   | -28                                             | -28                                             | -31                                                   | -31                                                   |
| Макс. штраф оптического тракта                                                   | дБ    | 2,5                                             | 2,5                                             | 2,5                                                   | 2,5                                                   |
| Макс. потери отражения на приёме                                                 | дБ    | -27                                             | -27                                             | -27                                                   | -27                                                   |

**Таблица ПЗ.3. NRZ 10Гбит/с (100ГГц, короткая линия)**

| Параметры                                                                        | Ед.   | DN100S-2D2(C)<br>DN100S-2D3(L)<br>DN100S-2D5(C) | DW100S-2D2(C)<br>DW100S-2D3(L)<br>DW100S-2D5(C) | DN100S-2D2(C)F<br>DN100S-2D3(L)F<br>DN100S-2D5(C)F | DW100S-2D2(C)F<br>DW100S-2D3(L)F<br>DW100S-2D5(C)F |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Общая информация</b>                                                          |       |                                                 |                                                 |                                                    |                                                    |
| Минимальный межканальный интервал                                                | ГГц   | 100                                             | 100                                             | 100                                                | 100                                                |
| Битовая скорость/ линейное кодирование                                           | -     | 10 Гбит/с<br>NRZ                                | 10 Гбит/с<br>NRZ                                | OTU2 FEC<br>NRZ                                    | OTU2 FEC<br>NRZ                                    |
| Максимальный коэффициент ошибок по битам                                         | -     | 10 <sup>-12</sup>                               | 10 <sup>-12</sup>                               | 10 <sup>-12</sup>                                  | 10 <sup>-12</sup>                                  |
| Тип волокна                                                                      | -     | G.652,G.653,G.655                               | G.652,G.653,G.655                               | G.652,G.653,G.655                                  | G.652,G.653,G.655                                  |
| <b>Интерфейсная точка S<sub>s</sub></b>                                          |       |                                                 |                                                 |                                                    |                                                    |
| Максимальный уровень мощности на выходе канала                                   | дБм   | +3                                              | +3                                              | +3                                                 | +3                                                 |
| Минимальный уровень мощности на выходе канала                                    | дБм   | -1                                              | -1                                              | -1                                                 | -1                                                 |
| Минимальная центральная частота                                                  | ТГц   | 191,5 для С<br>186,0 для L                      | 191,5 для С<br>186,0 для L                      | 191,5 для С<br>186,0 для L                         | 191,5 для С<br>186,0 для L                         |
| Макс. центральная частота                                                        | ТГц   | 196,2 для С<br>191,5 для L                      | 196,2 для С<br>191,5 для L                      | 196,2 для С<br>191,5 для L                         | 196,2 для С<br>191,5 для L                         |
| Макс. спектральное отклонение                                                    | ГГц   | ±12,5   ±20                                     | ±12,5   ±20                                     | ±12,5   ±20                                        | ±12,5   ±20                                        |
| Мин. подавление боковой моды                                                     | дБ    | 30                                              | 30                                              | 30                                                 | 30                                                 |
| Мин. коэффициент гашения                                                         | дБ    | 8,2                                             | 8,2                                             | 8,2                                                | 8,2                                                |
| Маска импульса                                                                   |       | G.959.1                                         | G.959.1                                         | G.959.1                                            | G.959.1                                            |
| <b>Оптический тракт от S<sub>s</sub> до R<sub>s</sub></b>                        |       |                                                 |                                                 |                                                    |                                                    |
| Макс. потери, вносимые в канале                                                  | дБ    | 18,5                                            | 18,5                                            | 21,5                                               | 21,5                                               |
| Мин. потери, вносимые в канал                                                    | дБ    | 10                                              | 10                                              | 10                                                 | 10                                                 |
| Максимальный риппл                                                               | дБ    | 2                                               | 2                                               | 2                                                  | 2                                                  |
| Макс. хроматическая дисперсия                                                    | пс/нм | 1100                                            | 1100                                            | 1400                                               | 1400                                               |
| Минимальные оптические возвратные потери                                         | дБ    | 24                                              | 24                                              | 24                                                 | 24                                                 |
| Максимальная дискретная отраж. способность между S <sub>s</sub> и R <sub>s</sub> | дБ    | -27                                             | -27                                             | -27                                                | -27                                                |
| Макс. дифференциальная групповая задержка                                        | пс    | 30                                              | 30                                              | 30                                                 | 30                                                 |
| Максимальные межканальные перекрёстные влияния                                   | дБ    | -16                                             | -16                                             | -16                                                | -16                                                |
| Макс. интерферометрические перекрёстные влияния                                  | дБ    | -45                                             | -45                                             | -45                                                | -45                                                |
| <b>Интерфейсная точка R<sub>s</sub></b>                                          |       |                                                 |                                                 |                                                    |                                                    |
| Максимальный уровень мощности канала на входе                                    | дБм   | -7                                              | -7                                              | -7                                                 | -7                                                 |
| Минимальный уровень чувствительности                                             | дБм   | -22                                             | -22                                             | -25                                                | -25                                                |
| Макс. штраф оптического тракта                                                   | дБ    | 2,5                                             | 2,5                                             | 2,5                                                | 2,5                                                |
| Макс. потери отражения на приеме                                                 | дБ    | -27                                             | -27                                             | -27                                                | -27                                                |

**Таблица П3.4. NRZ 10Гбит/с (100ГГц, длинная линия)**

| Параметры                                                                        | Ед.   | DN100L-2D2(C)<br>DN100L-2D3(L)<br>DN100L-2D5(C) | DW100L-2D2(C)<br>DW100L-2D3(L)<br>DW100L-2D5(C) | DN100L-2D2(C)F<br>DN100L-2D3(L)F<br>DN100L-2D5(C)F | DW100L-2D2(C)F<br>DW100L-2D3(L)F<br>DW100L-2D5(C)F |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Общая информация</b>                                                          |       |                                                 |                                                 |                                                    |                                                    |
| Минимальный межканальный интервал                                                | ГГц   | 100                                             | 100                                             | 100                                                | 100                                                |
| Битовая скорость/ линейное кодирование                                           | -     | 10 Гбит/с<br>NRZ                                | 10 Гбит/с<br>NRZ                                | OTU2 FEC<br>NRZ                                    | OTU2 FEC<br>NRZ                                    |
| Максимальный коэффициент ошибок по битам                                         | -     | 10 <sup>-12</sup>                               | 10 <sup>-12</sup>                               | 10 <sup>-12</sup>                                  | 10 <sup>-12</sup>                                  |
| Тип волокна                                                                      | -     | G.652,G.653,G.655                               | G.652,G.653,G.655                               | G.652,G.653,G.655                                  | G.652,G.653,G.655                                  |
| <b>Интерфейсная точка S<sub>s</sub></b>                                          |       |                                                 |                                                 |                                                    |                                                    |
| Максимальный уровень мощности на выходе канала                                   | дБм   | +6                                              | +6                                              | +6                                                 | +6                                                 |
| Минимальный уровень мощности на выходе канала                                    | дБм   | +3                                              | +3                                              | +3                                                 | +3                                                 |
| Минимальная центральная частота                                                  | ТГц   | 191,5 для С<br>186,0 для L                      | 191,5 для С<br>186,0 для L                      | 191,5 для С<br>186,0 для L                         | 191,5 для С<br>186,0 для L                         |
| Макс. центральная частота                                                        | ТГц   | 196,2 для С<br>191,5 для L                      | 196,2 для С<br>191,5 для L                      | 196,2 для С<br>191,5 для L                         | 196,2 для С<br>191,5 для L                         |
| Макс. спектральное отклонение                                                    | ГГц   | ±12,5   ±20                                     | ±12,5   ±20                                     | ±12,5   ±20                                        | ±12,5   ±20                                        |
| Мин. подавление боковой моды                                                     | дБ    | 30                                              | 30                                              | 30                                                 | 30                                                 |
| Мин. коэффициент гашения                                                         | дБ    | 9                                               | 9                                               | 9                                                  | 9                                                  |
| Маска импульса                                                                   |       | G.959.1                                         | G.959.1                                         | G.959.1                                            | G.959.1                                            |
| <b>Оптический тракт от S<sub>s</sub> до R<sub>s</sub></b>                        |       |                                                 |                                                 |                                                    |                                                    |
| Макс. потери, вносимые в канале                                                  | дБ    | 24,5                                            | 24,5                                            | 27,5                                               | 27,5                                               |
| Мин. потери, вносимые в канал                                                    | дБ    | 13                                              | 13                                              | 13                                                 | 13                                                 |
| Максимальный риппл                                                               | дБ    | 2                                               | 2                                               | 2                                                  | 2                                                  |
| Макс. хроматическая дисперсия                                                    | пс/нм | 1600                                            | 1600                                            | 1700                                               | 1700                                               |
| Минимальные оптические возвратные потери                                         | дБ    | 24                                              | 24                                              | 24                                                 | 24                                                 |
| Максимальная дискретная отраж. способность между S <sub>s</sub> и R <sub>s</sub> | дБ    | -27                                             | -27                                             | -27                                                | -27                                                |
| Макс. дифференциальная групповая задержка                                        | пс    | 30                                              | 30                                              | 30                                                 | 30                                                 |
| Максимальные межканальные перекрёстные влияния                                   | дБ    | -16                                             | -16                                             | -16                                                | -16                                                |
| Макс. интерферометрические перекрёстные влияния                                  | дБ    | -45                                             | -45                                             | -45                                                | -45                                                |
| <b>Интерфейсная точка R<sub>s</sub></b>                                          |       |                                                 |                                                 |                                                    |                                                    |
| Максимальный уровень мощности канала на входе                                    | дБм   | -7                                              | -7                                              | -7                                                 | -7                                                 |
| Минимальный уровень чувствительности                                             | дБм   | -24                                             | -24                                             | -27                                                | -27                                                |
| Макс. штраф оптического тракта                                                   | дБ    | 2,5                                             | 2,5                                             | 2,5                                                | 2,5                                                |
| Макс. потери отражения на приёме                                                 | дБ    | -27                                             | -27                                             | -27                                                | -27                                                |

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ СТАНДАРТА G.959.1 ДЛЯ СЕТЕЙ OTN-OTN И SDH

Таблица П4.1. Оптические многоканальные интерфейсы

| Характеристики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Ед.                                          | Оптические многоканальные интерфейсы                           |                                                               |                                                               |                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                              | P16S1-1D2<br>P16S1-1D5                                         | P16I1-2D2<br>P16I1-2D3<br>P16I1-2D5                           | P16S1-2B2<br>P16S1-2B5                                        | P16S1-2C2<br>P16S1-2C3<br>P16S1-2C5                            |
| <b>Общая информация</b><br>Макс. число каналов<br>Скорость/линейный код<br>Макс. коэфф. ошибок<br>Тип волокна                                                                                                                                                                                                                                                       | Гбит/с                                       | 16<br>2,5 /NRZ<br>$10^{-12}$<br>G.652,<br>G.655                | 16<br>10/NRZ<br>$10^{-12}$<br>G.652,G.<br>653,G.655           | 16<br>10/NRZ<br>$10^{-12}$<br>G.652,<br>G.655                 | 16<br>10/NRZ<br>$10^{-12}$<br>G.652,G.<br>653,G.655            |
| <b>Интерфейс в точке MPI-S<sub>M</sub>:</b><br>-макс. уровень мощности на выходе канала<br>-мин. уровень мощности на выходе канала<br>_макс. общий уровень мощности на выходе<br>_центральная частота<br>-интервал между каналами<br>-макс. девиация частоты<br>_мин. коэфф. гашения                                                                                | дБм<br>дБм<br>дБм<br>ТГц<br>ГГц<br>ГГц<br>дБ | -4<br>-10<br>+8<br>192,1+0,2<br>m (0...15)<br>200<br>40<br>8,2 | -3<br>-6<br>+9<br>192,1+0,2<br>m (0...15)<br>200<br>40<br>8,2 | +3<br>0<br>+15<br>192,1+0,2<br>m (0...15)<br>200<br>40<br>8,2 | -7<br>-11<br>+5<br>192,1+0,2<br>m (0...15)<br>200<br>40<br>8,2 |
| <b>Оптический тракт (один интервал) от MPI-S<sub>M</sub> до MPI-R<sub>M</sub>:</b><br>_максимальное затухание<br>-минимальное затухание<br>-макс. хроматич. дисперсия<br>-минимальные оптические возвратные потери MPI-S <sub>M</sub><br>-максимальное дискретное отражение между MPI-S <sub>M</sub> и MPI-R <sub>M</sub><br>_максимальная дифф. групповая задержка | дБ<br>дБ<br>пс/нм<br>дБ<br>дБ<br>пс          | 11<br>2<br>800<br>24<br>_27<br>120                             | 6<br>0<br>400<br>24<br>_27<br>30                              | 11<br>0<br>800<br>24<br>_27<br>30                             | 11<br>0<br>800<br>24<br>_27<br>30                              |
| <b>Интерфейс в точке MPI-R<sub>M</sub>:</b><br>_макс. уровень мощности на входе канала<br>_мин. уровень мощности на входе канала<br>-макс. общий уровень мощности на входе<br>_макс. штраф оптич тракта<br>_мин. эквивал. чувств.<br>-макс. отражение оптич. сетевого элемента                                                                                      | дБм<br>дБм<br>дБм<br>дБ<br>дБм<br>дБ         | -6<br>_21<br>+6<br>1<br>_22<br>_27                             | -3<br>_12<br>+9<br>2 и 1<br>_14 и _13<br>_27                  | +3<br>_11<br>+15<br>2 и 1<br>_13 и _12<br>_27                 | -7<br>_22<br>+5<br>2 и 1<br>_24 и _23<br>_27                   |

## **СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, РЕКОМЕНДУЕМОЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОГО ЗАДАНИЯ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ**

1. Иванов А.Б. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. – М.: SYRUS SYSTEMS, 1999. – 671 с.
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. – М.: Техносфера, 2003.-448с.
3. Мальке Г., Гессинг П. Волоконно-оптические кабели. Основы. Проектирование кабелей. Планирование систем: Перев. с нем. /Под ред. В.Г. Фокина. Издание 2-е. 2001. Лингва-9. Новосибирск.-350 с.
4. Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. – М.: Солон - пресс, 2004.
5. Заславский К.Е. Волоконно-оптические системы передачи со спектральным уплотнением: Учебное пособие.– Новосибирск: СибГУТИ, 2005.-137с.
6. Матвеев В.А. Оптические усилители. Учебное пособие.– Новосибирск: СибГУТИ, 2005.
7. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 2001.
8. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. – М.: Лесар Арт, 2003.
9. Андрэ Жирар. Руководство по технологиям и тестированию систем WDM.-М.: EXFO, 2001.
10. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика. – М.: Мир. 1996.
11. Агравал Г.П., Кившарь Ю.С. Оптические солитоны. От волоконных световодов к фотонным кристаллам.Пер. с англ. – М.: Физматлит, 2005.
12. Заславский К.Е. Волоконно-оптические системы передачи: Методические указания к лабораторным работам. – Новосибирск: СибГУТИ, 2002. -135с.
13. Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети: Учебное пособие. – М.: Эко-Трендз, 2008.-288с.
14. Фокин В.Г. Проектирование оптической мультисервисной транспортной сети: Учебное пособие. – Новосибирск: СибГУТИ. 2009. -205с.
15. Андреев В.А., Дашков М.В. Рамановские усилители на волоконно-оптических линиях передачи: Монография. – М.: Ириас, 2008.-219с.
16. Ландсберг, Г.С. Оптика: Учебное пособие. – М.: Физматлит, 2006.-848с.
17. В.Г. Фокин. Волоконно-оптические системы передачи: Учебное пособие – Новосибирск: СибГУТИ, 2009.-313с.
18. Бакланов И.Г. SDH-NGSDH: практический взгляд на развитие транс-портных сетей. М.: Метротек, 2006.-736 с.
19. Павлов Н.М. Классификация аппаратуры и методика определения длины АОЛП// Технологии и средства связи, 2004, №3, часть 2. Специальный выпуск «Системы абонентского доступа – 2004».-С.74-80.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по организации и проведению самостоятельной работы  
по дисциплине «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ»  
для студентов направления подготовки  
11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
Направленность (профиль)  
«Технологии построения программно-управляемых систем и компьютерных сетей»

Ставрополь  
2026

## **СОДЕРЖАНИЕ**

|                                                                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>                                                                                                                 | <b>4</b>  |
| <b>1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ<br/>ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «СОВРЕМЕННЫЕ<br/>ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ».....</b> | <b>7</b>  |
| <b>2 ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ<br/>РАБОТЫ .....</b>                                                                      | <b>12</b> |
| <b>3 ВИДЫ ОТЧЕТНОСТИ.....</b>                                                                                                         | <b>14</b> |
| <b>4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ<br/>ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА .....</b>                                                     | <b>16</b> |
| <b>5 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К<br/>ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ .....</b>                                                         | <b>26</b> |
| <b>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>                                                                                          | <b>29</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности. Решение этой задачи вряд ли возможно только путем передачи знаний в готовом виде от преподавателя к студенту. Для решения этой задачи в учебные планы всех специальностей включена самостоятельная работа, составляющая значительную часть учебного времени обучаемого.

В связи с этим, обучаемому из пассивного потребителя знаний необходимо превратиться в активного их творца, умеющего сформулировать проблему, проанализировать пути ее решения, найти оптимальный результат и доказать его правильность. Происходящая в настоящее время реформа высшего образования связана по своей сути с переходом парадигмы обучения к парадигме образования. В этом плане следует признать, что самостоятельная работа студентов является не просто важной формой образовательного процесса, а должна стать его основой. Это предполагает ориентацию на активные методы овладения знаниями, развитие творческих способностей студентов, переход от поточного к индивидуализированному обучению с учетом потребностей и возможностей личности.

В широком смысле под самостоятельной работой следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне ее, в контакте с преподавателем и в его отсутствие.

Самостоятельная работа *в контакте с преподавателем* реализуется:

- непосредственно в процессе аудиторных занятий – на лекциях, практических и семинарских занятиях, при выполнении лабораторных работ;
- вне рамок расписания – на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении студентом учебных и творческих задач.

Видами заданий для *внеаудиторной* самостоятельной работы могут быть:

**1. Для овладения знаниями:**

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы);
- составление плана текста;
- графическое изображение структуры текста;
- конспектирование текста;
- работа со словарями и справочниками;
- работа с нормативными документами;
- учебно-исследовательская работа;
- использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники, Интернет и др.

**2. Для закрепления и систематизации знаний:**

- работа с конспектом лекции (обработка текста);
- повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио- и видеозаписей);
- составление плана и тезисов ответа;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- ответы на контрольные вопросы;
- аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект, анализ и др.);
- подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции;
- подготовка рефератов, докладов;
- составление библиографии;
- тестирование и др.

**3. Для формирования умений:**

- решение задач и упражнений по образцу;

- решение вариантных задач и упражнений;
- решение ситуационных производственных (профессиональных) задач;
- подготовка к деловым играм;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности;
- подготовка курсовых и дипломных работ (проектов);
- экспериментальная работа;
- рефлексивный анализ профессиональных умений, с использованием аудио- и видеотехники и др.

Границы между этими видами работ достаточно размыты, а сами виды самостоятельной работы пересекаются.

## **1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ»**

Целью самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Современные технологии транспортных сетей» является формирование у обучающихся личностных качеств, а также набора профессиональных компетенций будущего магистра в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи.

Задачи самостоятельной работы:

- освоение принципов построения современных систем связи, предоставляющих разнообразные инфокоммуникационные услуги, а также технических характеристик систем связи различных стандартов;
- приобретение навыков разработки проектной и рабочей технической документации;
- освоение перспективных методов проектирования и моделирования элементов инфокоммуникационных систем;
- приобретение практических навыков проведения самостоятельного анализа основных как интегральных характеристик функционирования систем связи, так и характеристик функционирования трактов, устройств и блоков, входящих в состав систем связи;
- формирование практических навыков применения методов планирования сетей связи.

В рабочей программе дисциплины «Современные технологии транспортных сетей» определены следующие виды самостоятельной работы:

- подготовка к лабораторной работе;
- самостоятельное изучение литературы.

Целью вида самостоятельной работы «Подготовка к лабораторной работе» по дисциплине «Современные технологии транспортных сетей»

является закрепление студентами теоретического материала по специальности и выработка навыков самостоятельной профессиональной и научно-исследовательской деятельности в области систем и устройств радиотехники и связи.

Задачи вида самостоятельной работы «Подготовка к лабораторной работе» по дисциплине «Современные технологии транспортных сетей» обусловлены необходимостью получения студентом знаний, умений, навыков согласно требованиям ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, на основе которых формируются соответствующие компетенции.

| Код, формулировка компетенции                                                                                                     | Код, формулировка индикатора                                                                                                                                                                                                                                                                          | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий. | ИД-2 <sub>УК-1</sub> применяет методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций, разрабатывает стратегию действий, принимая конкретные решения для ее реализации.                                                                                                                 | Осуществляет сравнение альтернативных вариантов реализации транспортной сети, проводит выбор оптимального варианта с целью решения проблемной ситуации. |
| УК-2. Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла.                                                            | ИД-1 <sub>УК-2</sub> выделяет этапы жизненного цикла проекта, формулирует этапы разработки и реализации проекта.                                                                                                                                                                                      | Выделяет, формулирует отдельные этапы жизненного цикла транспортной сети.                                                                               |
|                                                                                                                                   | ИД-2 <sub>УК-2</sub> разрабатывает проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определяет целевые этапы, основные направления работ, объясняет цели и формулирует задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта, управляет проектом на всех этапах его жизненного цикла. | Анализирует транспортную сеть с учетом альтернативных вариантов, определяет цели её функционирования, основные работы, задачи на этапе эксплуатации.    |
|                                                                                                                                   | ИД-3 <sub>УК-2</sub> использует методики разработки и управления проектом, применяя методы оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта.                                                                                                                                                     | Использует методики управления транспортной сетью с учетом потребностей в ресурсах, применяя методы оценки эффективности функционирования.              |
| ПК-4 Способен осуществлять проектирование модернизации информационно-коммуникационной системы.                                    | ИД-1 <sub>ПК-4</sub> Использует принципы функционирования информационно-коммуникационной системы.                                                                                                                                                                                                     | Руководствуется принципами функционирования информационно-коммуникационной системы при эксплуатации транспортной сети.                                  |
|                                                                                                                                   | ИД-2 <sub>ПК-4</sub> Определяет состояние и перспективы развития                                                                                                                                                                                                                                      | Учитывает состояние и перспективы развития                                                                                                              |

|  |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                           |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | информационных и инфокоммуникационных технологий.                                                                                                       | информационных и инфокоммуникационных технологий при эксплуатации транспортной сети.                                                                      |
|  | ИД-3 <sub>ПК-4</sub> Определяет архитектуру и принципы функционирования сетевых аппаратных средств.                                                     | Осуществляет эксплуатацию транспортной сети с учетом особенностей архитектуры и принципов функционирования сетевых аппаратных средств.                    |
|  | ИД-4 <sub>ПК-4</sub> Использует базовую эталонную модель взаимодействия открытых систем и протоколы всех уровней модели взаимодействия открытых систем. | Учитывает особенности базовой эталонной модели взаимодействия открытых систем при эксплуатации транспортной сети.                                         |
|  | ИД-5 <sub>ПК-4</sub> Применяет способы, формы и методы коммерциализации продукции.                                                                      | Осуществляет эксплуатацию транспортной сети на основе использования способов, форм и методов коммерциализации продукции.                                  |
|  | ИД-6 <sub>ПК-4</sub> Отслеживает развитие инфокоммуникационных технологий.                                                                              | Учитывает направления развития инфокоммуникационных технологий при эксплуатации транспортной сети.                                                        |
|  | ИД-7 <sub>ПК-4</sub> Осуществляет сбор данных о потребностях пользователей информационно-коммуникационной системы.                                      | Осуществляет эксплуатацию транспортной сети на основе периодически собираемых данных о потребностях пользователей информационно-коммуникационной системы. |
|  | ИД-8 <sub>ПК-4</sub> Разрабатывает предложения по модернизации аппаратных, программно-аппаратных и программных технических средств.                     | Разрабатывает предложения по модернизации аппаратных, программно-аппаратных и программных технических средств при эксплуатации транспортной сети.         |

Целью вида самостоятельной работы «Самостоятельное изучение литературы» по дисциплине «Современные технологии транспортных сетей» является расширение и закрепление знаний, приобретаемых студентом на традиционных формах занятий и выработка навыков самостоятельной работы с литературой и источниками.

Задачи вида самостоятельной работы «Самостоятельное изучение литературы» по дисциплине «Современные технологии транспортных сетей» обусловлены необходимостью получения студентом знаний, умений, навыков согласно требованиям ФГОС ВО по направлению подготовки

11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, на основе которых формируются соответствующие компетенции.

| Код, формулировка компетенции                                                                                                     | Код, формулировка индикатора                                                                                                                                                                                                                                                                          | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий. | ИД-2 <sub>УК-1</sub> применяет методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций, разрабатывает стратегию действий, принимая конкретные решения для ее реализации.                                                                                                                 | Осуществляет сравнение альтернативных вариантов реализации транспортной сети, проводит выбор оптимального варианта с целью решения проблемной ситуации. |
| УК-2. Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла.                                                            | ИД-1 <sub>УК-2</sub> выделяет этапы жизненного цикла проекта, формулирует этапы разработки и реализации проекта.                                                                                                                                                                                      | Выделяет, формулирует отдельные этапы жизненного цикла транспортной сети.                                                                               |
|                                                                                                                                   | ИД-2 <sub>УК-2</sub> разрабатывает проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определяет целевые этапы, основные направления работ, объясняет цели и формулирует задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта, управляет проектом на всех этапах его жизненного цикла. | Анализирует транспортную сеть с учетом альтернативных вариантов, определяет цели её функционирования, основные работы, задачи на этапе эксплуатации.    |
|                                                                                                                                   | ИД-3 <sub>УК-2</sub> использует методики разработки и управления проектом, применяя методы оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта.                                                                                                                                                     | Использует методики управления транспортной сетью с учетом потребностей в ресурсах, применяя методы оценки эффективности функционирования.              |
| ПК-4 Способен осуществлять проектирование модернизации информационно-коммуникационной системы.                                    | ИД-1 <sub>ПК-4</sub> Использует принципы функционирования информационно-коммуникационной системы.                                                                                                                                                                                                     | Руководствуется принципами функционирования информационно-коммуникационной системы при эксплуатации транспортной сети.                                  |
|                                                                                                                                   | ИД-2 <sub>ПК-4</sub> Определяет состояние и перспективы развития информационных и инфокоммуникационных технологий.                                                                                                                                                                                    | Учитывает состояние и перспективы развития информационных и инфокоммуникационных технологий при эксплуатации транспортной сети.                         |
|                                                                                                                                   | ИД-3 <sub>ПК-4</sub> Определяет архитектуру и принципы функционирования сетевых аппаратных средств.                                                                                                                                                                                                   | Осуществляет эксплуатацию транспортной сети с учетом особенностей архитектуры и принципов функционирования сетевых аппаратных средств.                  |
|                                                                                                                                   | ИД-4 <sub>ПК-4</sub> Использует базовую эталонную модель взаимодействия открытых систем и протоколы всех уровней модели взаимодействия открытых систем.                                                                                                                                               | Учитывает особенности базовой эталонной модели взаимодействия открытых систем при эксплуатации транспортной сети.                                       |

|  |                                                                                                                                     |                                                                                                                                                           |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ИД-5 <sub>ПК-4</sub> Применяет способы, формы и методы коммерциализации продукции.                                                  | Осуществляет эксплуатацию транспортной сети на основе использования способов, форм и методов коммерциализации продукции.                                  |
|  | ИД-6 <sub>ПК-4</sub> Отслеживает развитие инфокоммуникационных технологий.                                                          | Учитывает направления развития инфокоммуникационных технологий при эксплуатации транспортной сети.                                                        |
|  | ИД-7 <sub>ПК-4</sub> Осуществляет сбор данных о потребностях пользователей информационно-коммуникационной системы.                  | Осуществляет эксплуатацию транспортной сети на основе периодически собираемых данных о потребностях пользователей информационно-коммуникационной системы. |
|  | ИД-8 <sub>ПК-4</sub> Разрабатывает предложения по модернизации аппаратных, программно-аппаратных и программных технических средств. | Разрабатывает предложения по модернизации аппаратных, программно-аппаратных и программных технических средств при эксплуатации транспортной сети.         |

## 2 ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

На первом этапе необходимо ознакомиться с рабочей программой дисциплины, в которой рассмотрено содержание тем дисциплины лекционного курса, взаимосвязь тем лекций с лабораторными работами, темы и виды самостоятельной работы. По каждому виду самостоятельной работы предусмотрены определённые формы отчетности.

### План самостоятельного изучения литературы

| № п/п | Виды самостоятельной работы         | Рекомендуемые источники информации (№ источника) |                |              |                  |
|-------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------|--------------|------------------|
|       |                                     | Основная                                         | Дополнительная | Методическая | Интернет-ресурсы |
| 1     | Подготовка к лабораторной работе    | 1 2 4                                            | 1 2            | 1 2 3        | 1 2 3 4          |
| 2     | Самостоятельное изучение литературы | 1 2 4                                            | 1 2            | 1 2 3        | 1 2 3 4          |

### **3 ВИДЫ ОТЧЕТНОСТИ**

Рейтинговая система оценки успеваемости студентов в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации не применяется.

#### **Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация проводится в форме **зачета с оценкой**.

Процедура проведения зачета с оценкой осуществляется в соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования в СКФУ - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры - в СКФУ, Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам аспирантуры, программам ординатуры - в СКФУ.

**Текущий контроль** обучающихся проводится преподавателями, ведущими лабораторные занятия по дисциплине, в следующих формах:

- подготовка к лабораторной работе;
- самостоятельное изучение литературы.

Критерии оценивания результатов самостоятельной работы:

- конспект;
- письменный отчет;

приведены в Фонде оценочных средств по дисциплине «Современные технологии транспортных сетей».

**Текущая аттестация** студентов проводится преподавателями, ведущими лабораторные занятия по дисциплине, в следующих формах: собеседование.

**Допуск к практическим работам** происходит при наличии у студентов печатного варианта отчета. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Максимальное количество баллов студент получает, если оформление отчета соответствует установленным требованиям, а отчет полностью раскрывает суть работы. Основанием для снижения оценки являются:

- наличие ошибок в отчете, не искажающих сути, рассматриваемого вопроса;
- ответы на вопросы преподавателя не являются исчерпывающими;
- письменный отчет выполнен в небрежной форме.

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- в представленном письменном отчете приведены неправильные расчеты;
- в представленном письменном отчете приведены не обоснованные выводы;
- задание на практическое занятие выполнено не полностью.

Критерии оценивания письменного отчета по практической работе приведены в Фонде оценочных средств по дисциплине «Современные технологии транспортных сетей».

## **4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА**

При работе с рекомендованной литературой и источниками студенту необходимо, в первую очередь, обратить внимание на следующие моменты:

1. Внимательно изучить материалы, характеризующие курс и тематику самостоятельного изучения, что изложено в учебно-методическом комплексе по дисциплине. Это позволит четко представить как круг, изучаемых тем, так и глубину их постижения.

2. Составить подборку литературы, достаточную для изучения предлагаемых тем. В учебно-методическом комплексе или методических рекомендациях обязательно представлены основной и дополнительный списки литературы, доступные для студентов. Они носят рекомендательный характер, это означает, что всегда есть литература, которая может не входить в данный список, но является необходимой для освоения темы. При этом следует иметь в виду, что нужна литература различных видов:

- учебники, учебные и учебно-методические пособия;
- монографии, сборники научных статей, публикации в журналах;
- справочная литература – энциклопедии, словари, тематические, терминологические справочники;

3. Обучаемый должен совершать собственные интеллектуальные усилия, а не только механически заучивать понятия и положения.

**Вопросы для собеседования по вопросам темы выносимой на самостоятельное изучение**

**Тема 1. Основы построения оптических систем передачи**

1. Какие частоты электромагнитных колебаний относят к оптическому диапазону?
2. Как связаны длина волны электромагнитного излучения и частота?

3. Чем характеризуют оптические свойства физических сред?
4. Какие характеристики имеет стеклянный световод?
5. Чем определяются потери оптической мощности в стекловолокне?
6. Какие дисперсионные искажения оптических сигналов возможны в стекловолокне?
7. Что называют двойным лучепреломлением?
8. Что обозначает условие Брэгга-Вульфа?
9. Что представляет собой оптическая анизотропия?

## Тема 2. Цифровое мультиплексирование в оптических системах передачи

1. Какие виды цифрового мультиплексирования применяют в оптических системах передачи?
2. В чём заключается основной принцип плезиохронного мультиплексирования?
3. Какое назначение имеют битовые вставки при мультиплексировании PDH?
4. Какие скоростные режимы формируются в системах PDH?
5. В чем проблемы мультиплексирования PDH?
6. Какие преобразования цифровых данных предусмотрены в схеме мультиплексирования SDH?
7. Какие функции выполняют заголовки в цифровых блоках SDH?
8. Какое назначение определено указателям в цифровых блоках SDH?
9. Какие элементы входят в состав системы передачи SDH?
10. Что определяется в точках S и R системы передачи SDH?
11. В чем принципиальное отличие мультиплексирования ATM от SDH?
12. Чем отличается ячейка ATM от цикла SDH?
13. Какие протокольные функции предусмотрены в ATM?

### **Тема 3. Источники оптического излучения для систем передачи**

1. Что такое источник оптического излучения?
2. Какие требования предъявляются к излучателям оптических систем передачи?
3. Что представляет собой светодиод?
4. Какие конструкции СИД применяются в системе связи?
5. На чем основан принцип действия СИД?
6. Какое принципиальное различие имеют СИД торцевой и поверхностный?
7. Какие характеристики имеет СИД?
8. Какое устройство называется лазером?
9. Что представляет собой уравнение Эйнштейна?
10. Из каких элементов состоит лазер?
11. Каковы условия лазерной генерации?
12. Как устроен резонатор Фабри – Перо?
13. В чем заключается работа полосткового лазера?
14. Какие характеристики имеют полупроводниковые лазеры?

### **Тема 4. Модуляция излучения источников электромагнитных волн оптического диапазона**

1. Что такое модуляция оптического излучения?
2. Какие виды модуляции применяются в технике оптической связи?
3. Какие отличия имеют прямая и внешняя модуляции оптического излучения?
4. Чем характеризуется прямая модуляция?
5. Каким образом уменьшаются искажения при прямой модуляции?
6. Чем отличаются модуляционные характеристики СИД и ППЛ?
7. Почему происходит динамическое уширение спектра?
8. Чем вызваны шумы при прямой модуляции излучения?

9. Какие функциональные блоки входят в передающие интегрированные оптические модули?

10. Каким образом происходит электрооптическая модуляция?

11. Чем определяется полоса пропускания ЭОМ?

#### **Тема 5. Фотоприемники оптических систем передачи**

1. Какой прибор называется фотодетектором?

2. Какие требования предъявляются к фотоприемникам систем связи?

3. Что такое фотодиод?

4. Как устроен р-і-n фотодиод?

5. Какое назначение имеет просветляющий слой фотодиода?

6. Какие характеристики имеет фотодиод?

7. Какие преимущества имеет ЛФД перед р-і-n?

8. Каким образом может быть повышено быстродействие фотодиода?

9. Чем определяется коэффициент умножения ЛФД?

10. Что представляет собой характеристика линейности детектирования ЛФД?

11. Почему ЛФД нуждается в регулируемом источнике Есм?

#### **Тема 6. Фотоприемные устройства оптических систем передачи**

1. Что представляет собой фотоприемное устройство?

2. Чем отличаются прямое детектирование и детектирование с преобразованием?

3. Каким требованиям должны удовлетворять ФПУ оптических систем связи?

4. Какие элементы входят в ФПУ с прямым детектированием? Какое они имеют назначение?

5. Какие элементы входят в ФПУ с преобразованием? Чем они отличаются от элементов ФПУ прямого детектирования?

6. Какие достоинства и недостатки имеют усилители ФПУ?

7. Что отличает электрическую и оптическую полосы пропускания ФПУ?
8. Каким образом связаны электрическая и оптическая полосы частот ФПУ?
9. Чем определяется соотношение сигнал/шум в схеме ФПУ с интегрирующим усилителем и р-і-п фотодиодом?
10. Чем определяется соотношение сигнал/шум в схеме ФПУ с трансимпедансным усилителем и ЛФД?

### **Тема 7. Оптические усилители для оптических систем передачи**

1. Что такое оптический усилитель?
2. Почему возможно усиление света?
3. Как классифицируются оптические усилители?
4. Каким требованиям должны удовлетворять оптические усилители систем передачи?
5. Какие виды полупроводниковых оптических усилителей могут быть использованы в ВОСП?
6. Чем отличается усилитель бегущей волны от резонансного?
7. Какие недостатки имеет усилитель бегущей волны?
8. Что представляют собой редкоземельные элементы?
9. Куда помещаются атомы Er, Nd, Pd, Tm для получения эффекта оптического усиления?
10. Какие устройства входят в состав оптического усилителя?
11. Сколько энергетических уровней задействовано в атомах эрбия для усиления?

### **Тема 8. Линейные тракты оптических систем передачи**

1. Какие способы построения оптических линейных трактов могут быть выделены?
2. Что представляет собой атмосферный оптический тракт?

3. Что отличается в структуре одноволнового и многоволнового линейных трактов ВОСП?
4. Что представляет собой транспондер?
5. Какие требования предъявляются к линейным сигналам цифровых ВОСП?
6. Как классифицируются линейные коды ВОСП?
7. Какие характеристики определены для линейных кодов ВОСП?
8. Объясните алгоритм формирования скремблированного кода.
9. Объясните алгоритм формирования линейных кодов 1В2В.
10. Каким образом формируются сигналы в кодах mBnB?
11. Что является основой определения длины регенерационного участка цифровой ВОСП?
12. Что такое коэффициент ошибок?
13. Как работает устройство восстановления импульсов?
14. Какое назначение имеет фильтр-корректор?
15. Что определяет длину регенерационного участка одноволновой ВОСП?

**Тема 9.** Оптические компоненты для систем передачи и оптических сетей

1. Какое назначение имеют разъемные оптические соединители?
2. Где применяются разъемные соединители?
3. Когда можно соединить выход оптического передатчика с оптическим приемником в одном мультиплексоре SDH?
4. Какое назначение аттенюаторов ВОСП?
5. Какие функции выполняют оптические разветвители?
6. Как устроен и работает оптический вентиль?
7. Что общего между оптическими фильтрами, мультиплексорами и демультиплексорами?

8. Объяснить работу фазированной волноводной решетки в качестве мультиплексора.
9. Для чего применяются оптические циркуляторы?
10. Что обеспечивают компенсаторы дисперсии?
11. Почему дифракционная решетка может быть использована для компенсации дисперсии?
12. Когда требуется преобразование длины волны излучения?

### **Дополнительные вопросы**

#### **Тема 1. Основы построения оптических систем передачи**

1. Какие полупроводниковые материалы используются в производстве приборов для оптических систем связи?
2. Чем отличаются прямозонные и непрямозонные материалы?
3. Какое назначение имеет оптический конвертор?

#### **Тема 2. Цифровое мультиплексирование в оптических системах передачи**

1. Каким образом можно совместить мультиплексирование SDH и ATM?
2. В чём заключено отличие мультиплексирования OTN от SDH?
3. Чем отличаются циклы SDH и OTN?
4. Какие виды мультиплексирования сочетаются в OTN?
5. Какой из рассмотренных видов мультиплексирования обеспечивает наивысшую эффективность использования полосы пропускания стекловолокна? И почему?

#### **Тема 3. Источники оптического излучения для систем передачи**

1. Что особенного в конструкции и принципе действия лазеров РОС, РБО и ЛВР?

2. Какие классы лазерных устройств предусмотрены для систем оптической связи?

3. Каким образом согласуются излучатели с волоконно-оптическими линиями связи и атмосферой?

4. С какой целью созданы лазеры с перестройкой частоты излучения?

**Тема 4.** Модуляция излучения источников электромагнитных волн оптического диапазона

1. Какое физическое явление используется в электроабсорбционном модуляторе?

2. Как работает модулятор Маха-Цендера (Зендера)?

3. Почему возможна акустооптическая модуляция?

4. Какие реальные дальности передачи в ВОСП достижимы при прямой и внешней модуляции на скоростях 10 Гбит/с и выше?

**Тема 5.** Фотоприемники оптических систем передачи

1. Какие шумы могут возникать в ЛФД?

2. Какие элементы составляют шумовую схему фотодиода?

3. Какие преимущества имеют фотодетекторы конструкции ТАР?

4. Что особенного в конструкции приборов ТАР?

**Тема 6.** Фотоприемные устройства оптических систем передачи

1. Каким образом определяется минимальная мощность на входе фотодетектора?

2. Что представляет коэффициент ошибок?

3. Какой тип ФПУ имеет более высокую чувствительность?

4. По каким параметрам должны быть совместимы передающие и приемные оптические модули?

5. Определить возможность совместной работы передающего модуля с ППЛ ИЛПН-234-Б и приемного модуля PGR60310.

### **Тема 7. Оптические усилители для оптических систем передачи**

1. На каких длинах волн у атомов эрбия наблюдается поглощение энергии?
2. Что порождает шум оптических усилителей?
3. Чем определяется величина усиления ВОУ?
4. Каким образом корректируется АЧХ усилителя?
5. Чем принципиально отличаются усилители на основе эффекта рассеяния от волоконных усилителей с редкоземельными материалами?

### **Тема 8. Линейные тракты оптических систем передачи**

1. Какие факторы ограничивают длину РУ?
2. Какие требования предъявляются к линейным трактам систем многоволновой передачи?
3. Какие устройства входят в состав многоволнового линейного тракта ВОСП?
4. Что необходимо учитывать при проектировании многоволновых ВОСП?
5. Что обеспечивает Q-фактор при проведении измерений в ВОСП?
6. Что обеспечивает упреждающая коррекция ошибок?

### **Тема 9. Оптические компоненты для систем передачи и оптических сетей**

1. Как преобразуется волна с информационным сигналом?
2. Какие виды оптических коммутаторов могут использоваться в ВОСП, кроссовых коммутаторах и маршрутизаторах?
3. Чем отличаются оптические коммутаторы?
4. Какие коммутаторы имеют наивысшее быстродействие?

### **Критерии оценки:**

Оценка **«отлично»** выставляется, если студент продемонстрировал высокое умение применять полученные знания на практике с использованием методологии системного анализа для решения прикладных задач, свободно без затруднений справился с поставленной задачей, показав владение разносторонними приемами и навыками ее выполнения, не допустил ошибок и неточностей;

Оценка **«хорошо»** выставляется, если студент продемонстрировал умение применять полученные знания на практике с использованием методологии системного анализа для решения прикладных задач, справился с поставленной задачей, показав владение необходимыми приемами и навыками ее выполнения, при этом допустил не более одной ошибки;

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если студент продемонстрировал посредственное умение применять полученные знания на практике с использованием методологии системного анализа для решения прикладных задач, с трудом справился с поставленной задачей, при этом допустил не более двух ошибок;

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если студент не продемонстрировал умение применять полученные знания на практике с использованием методологии системного анализа для решения прикладных задач, не справился с поставленной задачей или допустил при ее решении три и более серьезные ошибки.

## **5 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ**

При проведении практических работ по дисциплине «Современные технологии транспортных сетей» студент должен знать и владеть навыками, содержание, которых представлено в программе по дисциплине.

### **5.1. Методические указания при подготовке к практической работе**

Подготовку к лабораторной работе рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- уяснить тему и цель, предстоящего занятия;
- изучить теоретический материал в соответствии с темой занятия (рекомендуется использовать рекомендованную литературу, конспект лекций, учебное пособие (практикум)).

### **5.2. Методические указания при выполнении задания к практической работе**

При выполнении задания к лабораторной работе студенты должны строго соблюдать, установленные правила охраны труда.

При выполнении задания к лабораторной работе студентом, рекомендуется:

- уяснить цель, выполняемых заданий и способы их решения;
- задания, выполнять в той последовательности, в которой они указаны в практикуме;
- при выполнении задания и изучении теоретического материала использовать помощь преподавателя;
- оформить отчет по лабораторной работе;
- ответить на контрольные вопросы.

### **5.3. Методические указания при подготовке к защите отчета по практической работе**

При подготовке к защите отчета по практической работе студентом, рекомендуется:

- подготовить отчет по практической работе;
- уметь обосновать, сделанные выводы;
- закрепить знания теоретического материала по теме занятия (рекомендуется использовать контрольные вопросы);
- знать порядок проведения расчетов (проводимых исследований).

Защита отчета по практической работе осуществляется путем собеседования студента с преподавателем. При собеседовании студент представляет на проверку отчет по лабораторной работе.

Собеседование со студентом, претендующим на оценку «отлично» проводится по вопросам повышенного уровня обученности.

Собеседование со студентом, не претендующим на оценку «отлично» проводится по вопросам базового уровня, которые приведены в фонде оценочных средств по дисциплине.

#### **Критерии оценки:**

Оценка «**отлично**» выставляется, если студент продемонстрировал высокое умение применять полученные знания на практике с использованием методологии системного анализа для решения прикладных задач, свободно без затруднений справился с поставленной задачей, показав владение разносторонними приемами и навыками ее выполнения, не допустил ошибок и неточностей;

Оценка «**хорошо**» выставляется, если студент продемонстрировал умение применять полученные знания на практике с использованием методологии системного анализа для решения прикладных задач, справился с поставленной задачей, показав владение необходимыми приемами и навыками ее выполнения, при этом допустил не более одной ошибки;

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если студент продемонстрировал посредственное умение применять полученные знания на практике с использованием методологии системного анализа для решения прикладных задач, с трудом справился с поставленной задачей, при этом допустил не более двух ошибок;

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если студент не продемонстрировал умение применять полученные знания на практике с использованием методологии системного анализа для решения прикладных задач, не справился с поставленной задачей или допустил при ее решении три и более серьезные ошибки.

## **СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

### **Основная литература:**

1. Глухоедов, А.В. Инфокоммуникационные системы и сети. Конспект лекций Электронный ресурс : учебное пособие / А.В. Глухоедов. - Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2015. - 160 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
2. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев ; С.-Петербург. гос. электротехнич. ун-т. - 7-е изд. - М. : Юрайт, 2013. - 343 с. - (Бакалавр. Базовый курс). - На учебнике гриф: Рек.МО. - Библиогр.: с. 340-341. - ISBN 978-5-9916-2698-9.
3. Шевченко, В. П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации : [учебник для студентов вузов , обучающихся по спец. 080801 "Прикладная информатика (по областям)" и др. эконом. спец.] / В. П. Шевченко ; Моск. авиац. ин-т (Нац. исслед. ун-т). - Москва : КноРус, 2012. - 288 с. : ил. - Гриф: Рек. УМО. - Библиогр.: с. 287-288. - ISBN 978-5-406-00521-7.
4. Шишова, Н. А. Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей Электронный ресурс : Учебное пособие / Н. А. Шишова. - Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей, 2022-04-04. - Москва : Московский технический университет связи и информатики, 2015. - 43 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 2227-8397.

### **Дополнительная литература:**

1. Нерсисянц, А. А. Моделирование инфокоммуникационных систем и сетей связи Электронный ресурс : Учебное пособие по дисциплине «Мультисервисные сети связи» / А. А. Нерсисянц. - Ростов-на-Дону : Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи и

информатики, 2016. - 115 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 2227-8397.

2. Пуговкин, А. В. Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей : учебное пособие / А.В. Пуговкин ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). - Томск : Эль Контент, 2014. - 156 с. : схем., табл. - <http://biblioclub.ru/>. - Библиогр.: с. 150-151. - ISBN 978-5-4332-0148-4.