

Приложение 1 к рабочей программе

по дисциплине

«Оптические системы связи»

Федеральное агентство связи

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге  
(УрТИСИ СибГУТИ)



## ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

по дисциплине «Оптические системы связи»

для основной профессиональной образовательной программы по направлению

11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

направленность (профиль) – Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодоступа

квалификация – бакалавр

форма обучения – очная

год начала подготовки (по учебному плану) – 2020

Екатеринбург 2020

Федеральное агентство связи  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)  
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге  
(УрТИСИ СибГУТИ)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор УрТИСИ СибГУТИ  
\_\_\_\_\_ Е.А.Минина  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

по дисциплине «Оптические системы связи»  
для основной профессиональной образовательной программы по направлению  
Направление 11.02.03 Инфокоммуникационные технологии и системы связи  
направленность (профиль) – Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодоступа,  
квалификация – бакалавр,  
форма обучения – очная,  
год начала подготовки (по учебному плану) – 2020

## 1 Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Этап	Предшествующие этапы (с указанием дисциплин)
<i>ПК-1 – Способен к эксплуатации сетевых платформ, систем и сетей передачи данных</i>	<b>ПК-1.4</b> Владеет способами и методами применения оптических прозрачных материалов для целей развития сетевых платформ, систем и сетей передачи данных	3	Основы теории цепей Элементная база телекоммуникационных систем (1 эт) Основы мультимедийных технологий Электромагнитные поля и волны Операционные системы Схемотехника телекоммуникационных устройств Беспроводные технологии передачи данных Теория связи Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей Вычислительная техника и информационные технологии (2 эт)

Форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине: зачет (5 семестр).

## 2 Показатели, критерии и шкалы оценивания компетенций

2.1 Показателем оценивания компетенций на этапе их формирования при изучении дисциплины является уровень их освоения.

Шкала оценивания	Результаты обучения	Дескрипторы уровней освоения компетенций
Низкий (пороговый) уровень	<b>ПК-1.4</b> Владеет способами и методами применения оптических прозрачных материалов для целей развития сетевых платформ, систем и сетей передачи данных	Знает основы организации оптических систем передачи данных, конструкцию и основные характеристики оптически прозрачных сред передачи на базовом уровне. Испытывает значительные затруднения при ответе на вопросы преподавателя на зачете. Умеет производить элементарные расчеты и измерения по определению основных характеристик элементов оптических систем и сетей передачи данных, при этом в расчетах допускается значительное количество ошибок Владеет начальными навыками, применения

		<p>оптически прозрачных сред для передачи сигналов с целью развития сетевых платформ, систем и сетей передачи данных. При выполнении лабораторных работ может выполнять действия связанные с ходом работ только под непосредственным руководством преподавателя, испытывает значительные затруднения на защите лабораторных работ</p>
Средний уровень		<p>Знает основы организации оптических систем передачи данных, конструкцию и основные характеристики оптически прозрачных сред передачи на среднем уровне. Испытывает незначительные затруднения при ответе на вопросы преподавателя на зачете.</p> <p>Умеет производить элементарные расчеты и измерения по определению основных характеристик элементов оптических систем и сетей передачи данных, при этом в расчетах допускается незначительное количество ошибок</p> <p>Владеет навыками, применения оптически прозрачных сред для передачи сигналов с целью развития сетевых платформ, систем и сетей передачи данных. При выполнении лабораторных работ может выполнять действия связанные с ходом работ руководствуясь методическими указаниями и нормативными документами отрасли, испытывает незначительные затруднения на защите лабораторных работ</p>
Высокий уровень		<p>Знает основы организации оптических систем передачи данных, конструкцию и основные характеристики оптически прозрачных сред передачи на высоком уровне. Уверенно и аргументировано отвечает на вопросы преподавателя на зачете.</p> <p>Умеет производить элементарные расчеты и измерения по определению основных характеристик элементов оптических систем и сетей передачи данных, при этом в расчетах отсутствуют ошибки.</p> <p>Демонстрирует уверенные навыки, применения оптически прозрачных сред для передачи сигналов с целью развития сетевых платформ, систем и сетей передачи данных. При выполнении лабораторных работ может выполнять действия связанные с ходом работ руководствуясь нормативными документами отрасли, на защите лабораторных работ не испытывает затруднений</p>

2.2 Таблица соответствия результатов промежуточной аттестации по дисциплине уровню этапа формирования компетенций

Форма контроля	Шкала оценивания	Код индикатора достижения компетенций	Уровень освоения компетенции
Зачет		ПК-1.4	Низкий, средний, высокий

**3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

Процесс оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, представлен в таблицах по формам обучения:

Очная форма

Тип занятия	Тема (раздел)	Оценочные средства
<b>ПК-1.4</b> Владеет способами и методами применения оптических прозрачных материалов для целей развитию сетевых платформ, систем и сетей передачи данных		
Лекция	Все разделы дисциплины	Зачет
Лабораторная работа	Конструкции и характеристики волоконно-оптических линий связи Параметры передачи оптических систем связи Основы монтажа волоконно-оптических линий связи	Отчет по лабораторной работе
Практическое занятие	«Физические основы оптической связи» «Основы построения оптических систем связи» «Оптическое волокно» «Конструкции и характеристики волоконно-оптических линий связи» «Основы теории передачи по волоконно-оптическим линиям связи», «Параметры передачи оптических систем связи»	Отчет по практическим занятиям Зачет
Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Отчеты по лабораторным работам Отчеты по практическим занятиям Зачет

**4 Типовые контрольные задания**

Представить один пример задания по каждому типу оценочных средств для каждой компетенции, формируемой данной дисциплиной.

*ПК-1 – Способен к эксплуатации сетевых платформ, систем и сетей передачи данных*

Практическое занятие

1 Цель работы:

Освоение методики расчета параметров одномодового ступенчатого и градиентного многомодового световода.

Приобретение навыков расчета параметров одномодового ступенчатого и градиентного многомодового световода.

2 Подготовка к работе:

2.1 Изучить сущность параметров одномодового ступенчатого световода.

2.2 Изучить методику расчета параметров одномодового ступенчатого и градиентного многомодового световода.

3 Задание:

3.1 Рассчитать параметры ступенчатого одномодового и градиентного многомодового световода:

3.1.1 числовую апертуру;

3.1.2 число направляемых мод;

3.1.3 затухание световода;

3.1.4 дисперсию оптического волокна (ОВ)

3.2 Привести график зависимости показателя преломления от диаметра ОВ.

5 Исходные данные:

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчета одномодового световода

Пар аметр	Номер варианта									
d1, мкм	,0	,5	,0	,5	,0	,5	,0	,5	0,0	0,5
n1	,478	,483	,494	,555	,512	,523	,531	,543	,52	,562
n2	,471	,48	,489	,553	,508	,515	,524	,539	,512	,551
$\lambda$ , мкм	.31	.3	.55	.52	.3	.31	.55	.55	.3	.31
tg $\delta$ $\times 10^{-12}$										
$\Delta\lambda$ , нМ	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	,2	,4

Таблица 5.2 – Исходные данные для расчета многомодового световода

Пар аметр	Номер варианта									
d1, мкм	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
n1	,6	,58	,56	,54	,52	,5	,48	,46	,44	,42
n2	,5	,59	,55	,53	,51	,49	,47	,45	,43	,41
$\lambda$ , мкм	.85	,32	,32	,31	,3	,3	,32	.85	,31	.85
tg $\delta$ $\times 10^{-12}$										

6 Методические рекомендации:

6.1 Простейшие ОВ представляют собой круглый диэлектрический (стекло или прозрачный полимер) стержень, называемый сердцевинной, окруженный диэлектрической оболочкой. Показатель преломления материала сердцевины  $n_1 = \sqrt{\epsilon_1}$  всегда больше показателя преломления оболочки  $n_2 = \sqrt{\epsilon_2}$ , где  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  – относительные диэлектрические проницаемости сердцевины и оболочки соответственно [1].

### 6.1.1 Расчет числовой апертуры, нормированной частоты и числа мод

Для передачи сигналов ОВ используется явление полного внутреннего отражения на границе раздела двух диэлектрических сред ( $n_1 > n_2$ ).

Апертура – это угол между оптической осью и одной из образующих светового конуса, попадающего в торец волоконного световода, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения.

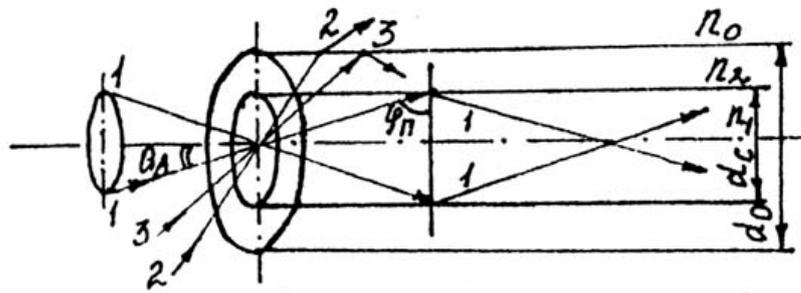


Рисунок 1 - Распространение луча в ОВ

По оптическому волокну будут эффективно передаваться только лучи, заключенный внутри телесного угла  $\theta_A$  (рисунок 1), величина которого обусловлена углом полного внутреннего отражения  $\varphi_n$ . Этот телесный угол характеризуется числовой апертурой  $NA = n_0 \sin \theta_A$  при вводе луча из воздуха  $n_0 = 1$  ( $n_0$  – показатель преломления воздуха). Для других различных сред расчет производится по формуле 6:

$$NA = \sin \theta_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (1)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – показатели (коэффициенты) преломления сердцевины и оболочки соответственно.

Режим работы оптического волокна определяется нормированной частотой ОВ. Как правило, если данный параметр находится в пределах от 0 до 2,405, то имеет место одномодовый режим передачи, если же данный параметр больше, режим работы – многомодовый. Расчет нормированной частоты  $V$ , производится по формуле 7:

$$V = \frac{\pi d_c}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – длина волны излучателя, мкм;

$d_c$  – диаметр сердцевины ОВ, мкм.

Число направляемых мод выполняется по методике [1]

Для градиентных волокон

$$N = \frac{V^2}{4} \quad (3)$$

Для ступенчатых волокон

$$N = \frac{V^2}{2} \quad (4)$$

### 6.1.2 Расчет ослабления (затухания) сигнала в ОВ

Затухание оптического сигнала в кабеле в общем понимании обусловлено собственными потерями в ОВ  $\alpha_c$  и дополнительными потерями, так называемым кабельными,  $\alpha_k$  на единицу длины в один километр, обусловленными скруткой, а также деформацией и изгибами оптических волокон при наложении покрытий и защитных оболочек в процессе изготовления оптического кабеля:

$$\alpha_{ок} = \alpha_c + \alpha_k \quad (5)$$

Величина  $\alpha_k$  в реальных условиях составляет 0,1-0,5 дБ/км. На современном этапе развития технологий производства оптических кабелей  $\alpha_k$  находятся на достаточно низком уровне и при расчетах в данной работе не учитывается.

Собственные потери волоконного оптического волокна состоят из потерь (затухания) поглощения  $\alpha_p$  и потерь (затухания) рассеяния  $\alpha_r$ :

$$\alpha_c = \alpha_p + \alpha_r. \quad (6)$$

Затухание в результате поглощения  $\alpha_p$  дБ/км, связано с потерями на диэлектрическую поляризацию, линейно растет с частотой, существенно зависит от свойств материала волокна ( $\text{tg } \delta$ ). В диапазоне рабочих частот ВОСП количественно они могут быть оценены по формуле [1]

$$\alpha_n = 8,69 \times \frac{\pi \times n_1 \times \text{tg} \delta}{\lambda}, \text{ дБ/км}, \quad (7)$$

где  $n_1$  – показатель преломления сердцевины ОВ;

$\text{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь материала сердцевины ОВ, принимающий значения в диапазоне от 10<sup>-12</sup> до 2·10<sup>-11</sup> (при расчетах данные брать согласно варианта задания);

$\lambda$  – длина волны, км.

Затухание вследствие рассеяния вызывается несколькими механизмами. Во всех оптически прозрачных веществах свет рассеивается в результате флуктуаций показателя преломления в свою очередь возникших вследствие тепловых флуктуаций в жидкой фазе и «замороженных» при затвердевании. Такое рассеяние является Рэлеевским.

Коэффициент затухания, обусловленный рассеянием, может быть найден из выражения [1]

$$\alpha_p = 4,34 \times \frac{8\pi^3 \times (n_1^2 - 1)}{3\lambda^4} \times k \times \beta \times T \times 10^3, \quad (8)$$

где  $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана;

$T$  – температура затвердевания стекла при вытяжке, 1500К;

$\beta$  – коэффициент сжимаемости материала, 8,1·10<sup>-11</sup>, м<sup>2</sup>/Н;

$n_1$  – показатель преломления сердцевины.

Итоговое значение коэффициента затухания, определяется как сумма затухания рассеивания, затухания поглощения и затухания обусловленного кабельными потерями.

При выполнении работы кабельные потери волокна не учитывать.

По окончании расчетов дать заключение о соответствии рассчитанного коэффициента затухания нормированному значению для используемой рабочей длины волны и соответствующего ей окна прозрачности.

### 6.1.3 Дисперсия ОВ

Сравнивая дисперсионные характеристики различных ОВ, можно отметить, что лучшими данными обладают одномодовые световоды, так как в них отсутствует модовая дисперсия. В ступенчатых многомодовых ОВ, наоборот, наблюдается весьма значительная дисперсия. Разные моды имеют различное время распространения, в результате чего на приёмном конце нарушаются фазовые соотношения составляющих сигнала и сигнал сильно искажается (размывается). В градиентных ОВ происходит выравнивание времени распространения различных мод за счет специально подобранного профиля показателя преломления:  $n_1$  уменьшается от центра к периферии по параболическому закону. Это вызывает рефракцию – искривление траектории луча к осевой линии, что обуславливает волнообразный характер распространения лучей вдоль ОВ по винтовой линии. ГОВ подобно среде с распределенным линзовым эффектом, в которой световой пучок подвергается непрерывной подфокусировке.

Кроме модовой дисперсии в ОВ существует еще хроматическая (частотная) дисперсия (материальная, волноводная и профильная). Помимо ОВ в общее уширение импульса вносят свой вклад оптический излучатель (лазер, светодиод) и фотоприемник (фотодиод)[2.1].

Уширение импульса, отнесенное к 1 км, называют дисперсией. Для многомодовых градиентных волокон дисперсия рассчитывается по формуле

$$\tau = \frac{(NA)^4}{8n_1^3 c}, \text{ нс/км} \quad (9)$$

где NA – числовая апертура ОВ;

$n_1$  – показатель преломления сердцевины ОВ;

c – скорость света, км/с.

Для одномодового волокна дисперсия определяется как;

$$\tau = \Delta\lambda * [M(\lambda) + B(\lambda)], \quad (10)$$

где  $\Delta\lambda$ , нМ – ширина спектра излучения источника;

$M(\lambda)$  - удельная материальная дисперсия ОВ для заданной длины волны;

$B(\lambda)$  - удельная волновая дисперсия ОВ для заданной длины волны.

$M(\lambda)$  и  $B(\lambda)$  определяются по таблице 1.

Таблица 3 – Коэффициенты волновой и материальной дисперсии

Длина волны $\lambda$ , мкм	,6	,8	,0	,2	,3	,4	,55	,6	,8
--------------------------------	----	----	----	----	----	----	-----	----	----

$M(\lambda)$ , пс/(км·нм)	00	25	0	0	5	5	18	20	25
$B(\lambda)$ , пс/(км·нм)							2	4	6

Результаты расчетов свести в таблицу.

Таблица 6.1 – Результаты расчетов

Параметр		Значение	
		Одномодовое е ОВ	Многомодовое ОВ
Числовая апертура, NA			
Нормированная частота, V			
Число мод, N	Ступенчатое ОВ		
	Градиентное ОВ		
Затухание поглощения, $\alpha_p$ , дБ/км			
Затухание рассеяния, $\alpha_r$ , дБ/км			
Общее затухание оптического волокна, $\alpha$ , дБ/км			
Дисперсия оптического волокна, пс/км			

#### 4.2 Пример задания на лабораторную работу

Цель работы:

Изучить конструкцию и оптических кабелей. Ответить на вопросы, заполнить таблицу.

N п/п	Вопросы	Номер образца ОК			
		1	2	3	4
1	Тип конструкции ОК				
2	Число оптических модулей				
3	Расцветка оптических модулей				
4	Число оптических волокон				
5	Расцветка оптических волокон				
6	Материал силового элемента и его конструкция				
7	Материал модульной трубки				
8	Материал влагозащитной (внутренней) оболочки				

9	Состав и материал защитного покрытия				
10	Способ прокладки				
11	Предполагаемая полная марка ОК в соответствии с ТУ 16-705.296-86				
12	Предполагаемая марка кабеля в соответствии с маркировкой ЗАО СОКК				
13	Применяемая ЦСП PDH				
14	Скорость передачи информации, Мбит/с				
15	Рабочая длина волны, мкм				
16	Организуемое число каналов по двум волокнам.				
17	Общее число каналов, организуемое по данному кабелю				
18	Место использования				

#### 4.3 Перечень вопросов на зачет

1. Основные свойства света. Полное внутреннее отражение
2. Обобщенная структурная схема ВОСП. Назначение основных компонентов.
3. Сравнительная характеристика источников оптического излучения в ВОСП
4. Сравнительная характеристика фотоприемников в ВОСП
5. Конструкция и классификация оптических волокон. Стандарты на оптические волокна G651, G652
6. Конструкция и маркировка оптических кабелей
7. Типы световых лучей в оптических волокнах. Особенности их распространения.
8. Апертура оптического волокна. Понятие числовой апертуры. Высокоапертурные и низкоапертурные волокна. Влияние апертуры на процесс передачи.
9. Критическая длина волны. Длина волны отсечки. Графическое пояснение.
10. Типы волн в оптических волокнах. Особенности их распространения.
11. Затухание в оптическом волокне. Затухание рассеивания: причины, способы уменьшения, вклад в результирующее затухание ОВ.
12. Затухание в оптическом волокне. Затухание поглощения: причины, способы уменьшения, вклад в результирующее затухание ОВ.
13. Затухание в оптическом волокне. Затухание поглощения примесями: причины, способы уменьшения, вклад в результирующее затухание ОВ.

14. Затухание в оптическом волокне. График затухания оптического волокна. Пояснить зависимость от длины волны. Окна прозрачности.
15. Дисперсия оптического волокна. Определение, классификация. Межмодовая дисперсия. Коэффициент широкополосности.
16. Дисперсия оптического волокна. Определение, классификация. Хроматическая дисперсия. Коэффициент широкополосности.
17. Дисперсия оптического волокна. Определение, классификация. Поляризационная модовая дисперсия. Коэффициент широкополосности.
18. Источники опасных внешних электромагнитных влияний и способы защиты от них.

**5 Банк контрольных заданий и иных материалов, используемых в процессе процедур текущего контроля и промежуточной аттестации**

Банк представлен в локальной сети кафедры МЭС и доступен по URL: <http://www.aup.uisi.ru>. В разделе «Обучение» МЭС → ФГОС 3++

Оценочные средства рассмотрены и утверждены на заседании кафедры МЭС

29.05.2020 г.      Протокол № 10

Заведующий кафедрой (разработчика)

\_\_\_\_\_

Е.А.Субботин  
инициалы, фамилия

подпись

29.05.2020 г.

Оценочные средства рассмотрены и утверждены на заседании кафедры [МЭС]

29.05.2020 г.      Протокол № 10

Заведующий кафедрой (разработчика)

\_\_\_\_\_

подпись

Е.А.Субботин

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

29.05.2020 г.