



Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
Московской области

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова

«УТВЕРЖДАЮ»  
Проректор по  
учебно-методической работе  
*И.В. Бабина*  
«12» апреля 2022 г.

***ИНСТИТУТ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И  
ТЕХНОЛОГИЙ***

**КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.О.13.09 «ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ  
ЛИНИЙ СВЯЗИ (ВОЛС)»**

**Направление:** 10.03.01 Информационная безопасность

**Профиль:** Безопасность телекоммуникационных систем (в аэрокосмической сфере)

**Уровень высшего образования:** бакалавриат

**Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр

**Форма обучения:** очная

Королев  
2022

Рабочая программа является составной частью основной профессиональной образовательной программы и проходит рецензирование со стороны работодателей в составе основной профессиональной образовательной программы. Рабочая программа актуализируется и корректируется ежегодно.

**Автор: к.в.н., доцент Соляной В.Н., к.т.н., доцент Вихров А.П. Рабочая программа дисциплины «Физические основы волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)». – Королев МО: «Технологический университет», 2022.**

**Рецензент: к.в.н., доцент Соляной В.Н.**

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по специальности 10.03.01 «Информационная безопасность» и учебного плана, утвержденного Ученым советом МГОТУ. Протокол № 13 от 21 июня 2022 года.

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры:**

Заведующий кафедрой (ФИО, ученая степень, звание, подпись)	к.в.н., доцент Соляной В.Н.			
Год утверждения (переподтверждения)	2022	2023	2024	2025
Номер и дата протокола заседания кафедры	№ 8 от 17.03.2022			

**Рабочая программа согласована:**

Руководитель ОПОП ВО



к.т.н., доцент Вихров А.П.

**Рабочая программа рекомендована на заседании УМС:**

Год утверждения (переподтверждения)	2022	2023	2024	2025
Номер и дата протокола заседания УМС	Протокол № 5 от 21 июня 2022 г.			

## **1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

**Целью** освоения дисциплины «Физические основы волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)» является изучение важнейших физических процессов, явлений и закономерностей, определяющих работу волоконно-оптических линий связи, их основные элементы, основные параметры и характеристики, области применения, формирование навыков элементарного расчета основных параметров волоконно-оптической линии связи.

Дисциплина направлена на формирование следующих компетенций:

ОПК-4. Способен применять необходимые физические законы и модели для решения задач профессиональной деятельности;

ОПК-11. Способен проводить эксперименты по заданной методике и обработку их результатов;

ДОПК-1. Способен применять математические модели и решать задачи помехоустойчивого кодирования при проектировании защищенных телекоммуникационных систем.

### **Основными задачами дисциплины являются:**

- изучение основ физических явлений и закономерностей, определяющих работу волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний и навыков применения основных методов экспериментального исследования параметров волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний о методах и навыков анализа и систематизации результатов исследований параметров волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний о методах и навыков расчета и проектирования волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний о методах и навыков наладки, и диагностики волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний о методах и навыков монтажа, испытаний волоконно-оптических линий связи.

Показатели освоения компетенций отражают следующие индикаторы:

### **Трудовые действия:**

ОПК-4.3.1 владеет методами расчета простых линейных и нелинейных электрических цепей.

ДОПК-1.16 владеет навыками реализации политики информационной безопасности.

ДОПК-1.17 владеет навыками применения современных программно-аппаратных средств моделирования информационных процессов и систем ЗИ.

ДОПК-1.18 владеет навыками оценки адекватности моделей и анализа

результатов моделирования.

**Необходимые умения:**

ОПК-4.2.1 умеет решать базовые прикладные физические задачи.

ОПК-4.2.2 умеет делать выводы и формулировать их в виде отчета о проделанной исследовательской работе.

ОПК-11.2.1 умеет проводить физический эксперимент, обрабатывать его результаты.

ОПК-11.2.2 умеет использовать стандартные вероятностно-статистические методы анализа экспериментальных данных.

ОПК-11.2.3 умеет строить стандартные процедуры принятия решений на основе имеющихся экспериментальных данных.

ДОПК-1.10 умеет представлять процессы в формализованном виде на языках моделирования.

ДОПК-1.11 умеет делать выводы по результатам проведенного анализа, выявляя потенциальные угрозы ИБ.

ДОПК-1.12 умеет делать обоснованный выбор существующих средств защиты информации для нейтрализации определенного вида угроз.

**Необходимые знания:**

ОПК-4.1.4 знает основные положения колебаний и оптики; знает основные положения теории колебаний и волн, оптики.

ОПК-4.1.5 знает основополагающие принципы квантовой физики.

ОПК-11.1.1 знает теоретические основы теории погрешностей.

ДОПК-1.5 знает методы и подходы к реализации системы управления безопасностью автоматизированных информационных систем.

ДОПК-1.6 знает методы анализа процессов для определения актуальных угроз.

ДОПК-1.7 знает особенности работы решений по защите информации в информационных процессах и системах.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Физические основы волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)» относится к обязательной части основной профессиональной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 10.03.01 «Информационная безопасность».

Дисциплина реализуется кафедрой информационной безопасности.

Изучение данной дисциплины базируется на ранее изученных дисциплинах: «Защита информации в ТКС», «Проектирование элементов защищенных ТКС» и компетенциях: ОПК-1,6,8,12,13; ДОПК-1-4.

Дисциплина направлена на формирование следующих компетенций:

ОПК-4. Способен применять необходимые физические законы и модели для решения задач профессиональной деятельности;

ОПК-11. Способен проводить эксперименты по заданной методике и обработку их результатов;

ДОПК-1. Способен применять математические модели и решать задачи помехоустойчивого кодирования при проектировании защищенных телекоммуникационных систем.

Целью освоения дисциплины «Физические основы волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)» является изучение важнейших физических процессов, явлений и закономерностей, определяющих работу волоконно-оптических линий связи, их основные элементы, основные параметры и характеристики, области применения, формирование навыков элементарного расчета основных параметров волоконно-оптической линии связи.

Основными задачами дисциплины являются:

- изучение основ физических явлений и закономерностей, определяющих работу волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний и навыков применения основных методов экспериментального исследования параметров волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний о методах и навыков анализа и систематизации результатов исследований параметров волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний о методах и навыков расчета и проектирования волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний о методах и навыков наладки, и диагностики волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний о методах и навыков монтажа, испытаний волоконно-оптических линий связи.

Тематика курса включает изучение научных основ оптоэлектроники, интегральной и волоконной оптики; истории развития оптической связи, ее состояния и перспектив; характеристик, параметров и классификации оптических кабелей; активных и пассивных компонентов волоконно-оптических линий связи; принципов построения линейных трактов ВОЛС.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов. Преподавание дисциплины ведется на 4 курсе в 8 семестре для очной формы обучения и предусматривает проведение учебных

занятий следующих видов: лекции, практические занятия, самостоятельная работа обучающихся.

Программой предусмотрены следующие виды контроля: два текущих контроля успеваемости в форме тестирования и промежуточная аттестация в форме контрольной работы и зачета в 8 семестре для очной формы обучения.

Знания и компетенции, полученные при освоении дисциплины, являются базовыми для изучения дисциплины «Комплексное обеспечение защиты информации объекта информатизации (предприятия)», прохождения практики и выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра.

### 3. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов. Преподавание дисциплины ведется на 4 курсе в 8 семестре для очной формы обучения и предусматривает проведение учебных занятий следующих видов: лекции, практические занятия, самостоятельная работа обучающихся.

Программой предусмотрены следующие виды контроля: два текущих контроля успеваемости в форме тестирования и промежуточная аттестация в форме контрольной работы и зачета в 8 семестре для очной формы обучения.

Таблица 1

Виды занятий	Всего часов	Семестр 8
<b>Общая трудоемкость</b>	108	108
<b>Аудиторные занятия</b>	48	48
Лекции (Л)	12	12
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
<b>Самостоятельная работа</b>	60	60
<b>Курсовые работы (проекты)</b>	-	-
<b>Расчетно-графические работы</b>	-	-
<b>Контрольная работа, домашнее задание</b>	+	+
<b>Текущий контроль знаний (7 - 8, 15 - 16 недели)- 2ч.</b>	T1; T2	T1; T2
<b>Вид итогового контроля</b>	Зачет	Зачет

### 4. Содержание дисциплины

#### 4.1. Темы дисциплины и виды занятий

Таблица 2

Наименование тем	Лекции, час. Очное	Практические занятия, час. Очное	Лабораторные работы, час. Очное	Занятия в интерактивной форме, час. Очное	Код компетенций
<b>8 семестр</b>					
<b>Раздел 1. Виды услуг связи, протоколы, методы передачи информации</b>					
<b>Тема 1.</b> Методы и основные виды протоколов передачи информационных потоков	1	4		1	ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1
<b>Тема 2.</b> Аппаратура цифровой иерархии одноволновых ВОСП	1	4		1	ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1
<b>Тема 3.</b> Повышение пропускной способности линий связи	1	4		1	ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1
<b>Тема 4.</b> Оптические сети доступ	1	4		1	ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1
<b>Тема 5.</b> Тестирование и мониторинг ВОСП	1	4		1	ОПК-4 ОПК-11

					ДОПК-1
<b>Раздел 2. Элементная база ВОСП. Пассивные оптические элементы</b>					
<b>Тема 6.</b> Современные оптические волокна	<b>1</b>	<b>4</b>		<b>1</b>	ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1
<b>Тема 7.</b> Оптические кабели	<b>1</b>	<b>4</b>		<b>1</b>	ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1
<b>Тема 8.</b> Пассивные оптические элементы ВОЛС	<b>1</b>	<b>4</b>		<b>1</b>	ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1
<b>Раздел 3. Элементная база ВОСП. Активные квантово-электронные и волоконно-оптические элементы</b>					
<b>Тема 9.</b> Оптические усилители	<b>1</b>	<b>2</b>		<b>1</b>	ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1
<b>Тема 10.</b> Полупроводниковые квантовые генераторы когерентного оптического излучения (ПКГ)	<b>3</b>	<b>2</b>		<b>3</b>	ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1
<b>Итого:</b>	<b>12</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	

## 4.2 Содержание тем дисциплины 8 семестр

### Раздел 1. Виды услуг связи, протоколы, методы передачи информации

#### **Тема 1. Методы и основные виды протоколов передачи информационных потоков**

Характеристики современных видов услуг связи. Цифровые методы передачи информации. Плезиохронный метод цифровой передачи. Плезиохронная цифровая иерархия - ПЦИ (PDH). Линейные коды в системах ВОЛС ПЦИ. Синхронный метод передачи цифровых сигналов. Синхронная цифровая иерархия - СЦИ (SDH). Параметры и конфигурации одноволновых ВОСП-СЦИ. Асинхронный режим переноса сообщений (АТМ). Компьютерная сеть Ethernet. Всемирная сеть Internet. Основные службы Internet. Сервис WWW. Электронная почта (E-mail).

#### **Тема 2. Аппаратура цифровой иерархии одноволновых ВОСП**

Аппаратура ВОСП плезиохронной цифровой иерархии. Системы связи для соединительных линий первичной цифровой иерархии E1. Системы связи вторичной цифровой плезиохронной иерархии E2. Аппаратура СЦ И (SDH).

#### **Тема 3. Повышение пропускной способности линий связи**

Метод временного уплотнения (TDM). Метод частотного уплотнения (FDM). Модовое уплотнение (MDM). Уплотнение по поляризации (PDM). Методы уплотнения каналов по поляриности. Многоволновое уплотнение оптических несущих (WDM). Уплотнение оптических каналов по длинам волн оптических несущих (спектральное разделение — СР). Серийная аппаратура ВОСП-СР. Оптическое временное уплотнение (OTDM).

#### **Тема 4. Оптические сети доступа**



Документальная основа оптических сетей доступа (ОСД), определения, основные характеристики. Пассивная оптическая сеть доступа (ПОС). Использование технологий WDM в оптических сетях доступа. Элементная база ОСД. Волоконно-оптические системы кабельного телевидения как составная часть оптических сетей доступа. Общие характеристики оптических аналоговых систем. Многоканальная система волоконно-коаксиальной аппаратуры телевидения производства компаний LUCENT TECHNOLOGIES. Аппаратура передачи сигналов телевидения и звукового вещания по оптическому кабелю производства ЗАО НПП «РОТЕК».

## **Тема 5. Тестирование и мониторинг ВОСП**

Тестирование и мониторинг одноволновых однопролетных ВОСП. Тестирование и мониторинг многопролетных ВОСП-СП. Особенности ВОСП-СП. Измерение спектральных параметров. Измерение и контроль средней оптической мощности в ВОСП-СП. Метод непрерывного контроля многопролетных ВОСП –СП.

## **Раздел 2. Элементная база ВОСП. Пассивные оптические элементы**

### **Тема 6. Основы построения и обеспечения эффективного функционирования волоконно-оптических систем передачи**

Физические принципы работы оптического волокна. Многомодовые типы оптических волокон. Одномодовые оптические волокна. Дисперсия в одномодовых ОВ. Поляризационная модовая дисперсия (PMD). Нелинейные оптические явления в одномодовых волокнах. Спонтанное комбинационное (СКР), или рамановское, рассеяние. Фазовая самомодуляция (ФСМ) и перекрестная фазовая модуляция (ФКМ). Четырехволновое смешение (ЧВС). Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (РМБ или SBS). Одномодовые волокна новых типов производства компаний LUCENT TECHNOLOGIES и CORNING. Одномодовые волокна компании CORNING. Оптические волокна специальных типов. Оптические волокна с отрицательной дисперсией. Полимерные оптические волокна. Микроструктурированные оптические волокна и фотонные кристаллы. Брэгговские оптические волокна.

### **Тема 7. Оптические кабели**

Отечественные оптические кабели. Зарубежные оптические кабели для ВОЛС. Контроль за состоянием ОК в реальной линии ВОСП методом бриллюэновской рефлектометрии. Измерения хроматической дисперсии. Поляризованная модовая дисперсия (PMD). Соединение строительных длин оптических кабелей.

### **Тема 8. Пассивные оптические элементы ВОЛС**

Волоконно-оптические ответвители и разветвители. Волоконно-оптические переключатели. Термооптические переключатели. Технология MEM. Оптические изоляторы. Волоконно-оптические циркуляторы. Оптические мультиплексоры/демультиплексоры. Оптические

мультиплексоры интерференционного типа (ИОМ). Электрооптические модуляторы.

### **Раздел 3. Элементная база ВОСП. Активные квантово-электронные и волоконно-оптические элементы**

#### **Тема 9. Оптические усилители**

Волоконно-оптические усилители на основе активных волокон. Принципы работ ВОУ. Характеристики эрбиевых волоконных усилителей. Схемы накачки эрбиевого волокна ВОУ. Волоконно-оптические ВКР-усилители (рамановские усилители). Принцип работы ВКР-усилителей. Полупроводниковые оптические усилители (ПОУ). Принципы работы ПОУ.

#### **Тема 10. Полупроводниковые квантовые генераторы когерентного оптического излучения (ПКГ)**

Принципы работы ПКГ или ПЛ. Светодиоды. Полупроводниковые лазеры. Полупроводниковые лазеры VCSEL.

#### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы по дисциплине**

«Методические указания для самостоятельной работы обучающихся по освоению дисциплины» представлены в Приложении 2.

#### **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Структура фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведена в Приложении 1.

#### **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

##### **7.1 Основная литература:**

1. Еременко В.Т. Физические основы построения волоконно-оптических систем передачи информации: учебник / И.А. Саитов, В.Т. - Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, РГГУ, 2017. - 502 с. <http://oreluniver.ru/edu/description/10.03.01/913/a/o/2018>
2. Соколов, С.А. Волоконно-оптические линии связи и их защита от внешних влияний : учеб. пособие / С.А. Соколов. - Москва : Инфра-Инженерия, 2019. - 172 с. - ISBN 978-5-9729-266-8. - Текст : электронный. -

URL: <https://znanium.com/catalog/product/1053404> (дата обращения: 19.02.2023). – Режим доступа: по подписке.

4. Варданян В.А. Расчет характеристических параметров компонентов волоконно-оптических систем связи [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие/ Варданян В.А.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2015.— 38 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45486.html>.— ЭБС «IPRbooks»

## **7.2 Дополнительная литература**

1. Мандель А.Е. Методы и средства измерения в волоконно-оптических телекоммуникационных системах [Электронный ресурс]: учебное пособие/Мандель А.Е.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 120 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14015.html>.— ЭБС «IPRbooks»

2. Ефанов В.И. Электрические и волоконно-оптические линии связи [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ефанов В.И.— Электрон. Текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 149 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14032.html>.— ЭБС «IPRbooks»

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

- Справочная-правовая система "Консультант плюс"
- Электронно-библиотечная система "Лань"
- Электронно-библиотечная система IPRbooks
- Электронно-библиотечная система eLibrary

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля) приведены в Приложении 2.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

### **10.1 Перечень программного обеспечения: MSOffice**

### **10.2 Информационные справочные системы:**

1. Ресурсы информационно-образовательной среды;

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

### **Лекционные занятия:**

- аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран).

### **Практические занятия:**

- учебный класс, оснащенный вычислительной техникой (ПК) и доступом к Интернет-ресурсам, интерактивной доской Smart Board.
- рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
- рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет.



Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
Московской области

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова

## Приложение 1

**Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

***ИНСТИТУТ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И  
ТЕХНОЛОГИЙ***

**КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО  
ДИСЦИПЛИНЕ**

**«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ  
СВЯЗИ (ВОЛС)»  
(Приложение 1 к рабочей программе)**

**Направление:** 10.03.01 Информационная безопасность

**Профиль:** Безопасность телекоммуникационных систем (в аэрокосмической сфере)

**Уровень высшего образования:** бакалавриат

**Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр

**Форма обучения:** очная

Королев  
2022

## 1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

№ п/п	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или ее части)*	Раздел дисциплины, обеспечивающий формирование компетенции (или ее части)	В результате изучения раздела дисциплины, обеспечивающего формирование компетенции (или ее части), обучающийся должен:		
				Трудовые действия	Необходимые умения	Необходимые знания
1.	ОПК-4;	Способен применять необходимые физические законы и модели для решения задач профессиональной деятельности	Темы 1-4	ОПК-4.3.1 владеет методами расчета простых линейных и нелинейных электрических цепей	ОПК-4.2.1 умеет решать базовые прикладные физические задачи; ОПК-4.2.2 умеет делать выводы и формулировать их в виде отчета о проделанной исследовательской работе;	ОПК-4.1.4 знает основные положения колебаний и оптики; знает основные положения теории колебаний и волн, оптики; ОПК-4.1.5 знает основополагающие принципы квантовой физики;
2.	ОПК-11;	Способен проводить эксперименты по заданной методике и обработку их результатов	Темы 5-7		ОПК-11.2.1 умеет проводить физический эксперимент, обрабатывать его результаты ОПК-11.2.2 умеет использовать стандартные вероятностно-статистические методы анализа экспериментальных данных; ОПК-11.2.3 умеет строить стандартные процедуры принятия решений на основе имеющихся экспериментальных данных;	ОПК-11.1.1 знает теоретические основы теории погрешностей;
3.	ДОПК-1	Способен применять математические модели и решать задачи помехоустойчивого кодирования при проектировании	Темы 8-10	ДОПК-1.16 владеет навыками реализации политики информационной безопасности ДОПК-1.17 владеет	ДОПК-1.10 умеет представлять процессы в формализованном виде на языках моделирования ДОПК-1.11	ДОПК-1.5 знает методы и подходы к реализации системы управления безопасностью автоматизированных информационных систем ДОПК-1.6 знает методы анализа

		и защищенных телекоммуникационных систем		<p>навыками применения современных программно-аппаратных средств моделирования информационных процессов и систем ЗИ ДОПК-1.18 владеет навыками оценки адекватности моделей и анализа результатов моделирования</p>	<p>умеет делать выводы по результатам проведенного анализа, выявляя потенциальные угрозы ИБ ДОПК-1.12 умеет делать обоснованный выбор существующих средств защиты информации для нейтрализации определенного вида угроз</p>	<p>процессов для определения актуальных угроз ДОПК-1.7 знает особенности работы решений по защите информации в информационных процессах и системах</p>
--	--	--	--	--	---	--

## 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код компетенции	Инструменты, оценивающие сформированность компетенции	Показатель оценивания компетенции	Критерии оценки
ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1	Доклад в форме презентации	<p>A) полностью сформирована <b>5 баллов</b></p> <p>B) частично сформирована <b>3-4 балла</b></p> <p>C) не сформирована <b>2 балла</b></p>	<p>Проводится устно с использованием мультимедийных систем, а также с использованием технических средств</p> <p>Время, отведенное на процедуру – 10 - 15 мин.</p> <p>Неявка – 0.</p> <p>Критерии оценки:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Соответствие представленной презентации заявленной тематике (1 балл).</li> <li>2. Качество источников и их количество при подготовке доклада и разработке презентации (1 балл).</li> <li>3. Владение информацией и способность отвечать на вопросы аудитории (1 балл).</li> <li>4. Качество самой представленной презентации (1 балл).</li> <li>5. Оригинальность подхода и всестороннее раскрытие выбранной тематики (1 балл).</li> </ol> <p>Максимальная сумма баллов - 5 баллов.</p> <p>Результаты оценочной процедуры представляются обучающимся непосредственно в день проведения презентации – для текущего контроля. Оценка проставляется в электронный журнал.</p>
ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1	Контрольная работа	<p>A) полностью сформирована <b>5 баллов</b></p> <p>B) частично сформирована <b>3-4 балла</b></p> <p>C) не сформирована <b>2 балла</b></p>	<p>Проводится письменно с использованием мультимедийных систем, а также с использованием технических средств</p> <p>Время, отведенное на процедуру – 10 - 15 мин.</p> <p>Неявка – 0.</p> <p>Критерии оценки:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Соответствие представленной презентации заявленной тематике (1 балл).</li> <li>2. Качество источников и их количество при подготовке доклада и разработке презентации (1 балл).</li> <li>3. Владение информацией и способность отвечать на вопросы аудитории (1 балл).</li> <li>4. Качество самой представленной</li> </ol>



			<p>презентации (1 балл).</p> <p>5.Оригинальность подхода и всестороннее раскрытие выбранной тематики (1 балл).</p> <p>Максимальная сумма баллов - 5 баллов.</p> <p>Результаты оценочной процедуры представляются обучающимся непосредственно в день проведения презентации – для текущего контроля. Оценка проставляется в электронный журнал.</p>
--	--	--	--

### **3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

#### **3.1 Примерная тематика докладов в презентационной форме:**

1. Общие физические принципы передачи сигналов по волокну (строение волокна, апертура волокна, понятие о дисперсии, распространение света по волокну, понятие о моде, типы волокна).
2. Дисперсия в оптическом волокне (причины и виды дисперсии, поляризационная модовая дисперсия (ПМД)).
3. Затухание в оптическом волокне (виды и причины затухания, затухание на изгибах, ширина полосы пропускания оптического кабеля и определение длины регенерационного и усилительного участка).
4. Изготовление оптического вол окна. Оптические кабели. (методы изготовления оптических волокон, щелочное стекло, халькогенидное стекло, полимерное волокно, основные конструкции оптических кабелей, кабели, изготавливаемые промышленностью России).
5. Волновое уравнение.
6. Нелинейные явления в оптическом волокне (нелинейность коэффициента преломления, фазовая самомодуляция и кроссмодуляция (ФСМ и ФКМ), четырехволновое смешение, вынужденное неупругое рассеяние Мандельштама-Брюллиэна, комбинационное рассеяние Рамана).
7. Оптические усилители.
8. Мультиплексирование и волновое уплотнение (виды мультиплексирования, увеличение числа каналов в существующей линии, увеличение пропускной способности систем CWDM и наложение DWDM на CWDM. Ортогональное мультиплексирование).
9. Современные типы оптических волокон на основе двуокиси и кремния (развитие типов волокон, существующие типы оптических волокон на основе кремния).
10. Фотонно-кристаллические волокна (ФКВ) (фотонные кристаллы, дырчатые волокна, Брэгговские волокна, волокна со вспомогательными отверстиями, затухание изгиба ФКВ, отрицательный коэффициент преломления).

#### **3.2 Примерная тематика контрольных работ:**

1. Строительство оптических кабельных магистралей (методы прокладки оптического кабеля, прокладка в земле с помощью кабелеукладчика,

подвеска оптического кабеля на линиях электропередачи, метод задувки, прокладка через реки, механическая нагрузка на кабель при прокладке, техническая эксплуатация).

2. Измерения на ВОЛС (измерение затухания, измерение дисперсии, определение местонахождения проложенного кабеля).
3. Компенсация дисперсии (необходимость компенсации дисперсии, компенсация с помощью включения волокна с отрицательной дисперсией, компенсация с помощью дискретных рамановских усилителей, компенсация с помощью фотонно-кристаллических волокон, компенсация на модах высшего порядка, метод инверсии спектральной фазовой характеристики передаваемого сигнала, перестраиваемая компенсация хроматической дисперсии, адаптивная компенсация хроматической дисперсии, электронные методы компенсации).
4. Понятие о солитонах (краткий исторический обзор, самофокусировка луча, принципы формирования солитонов).
5. Пассивные компоненты ВОЛС (разветвители, соединители, разъемные соединители, аттенюаторы, изоляторы и оптические циркуляторы).
6. Внешние электромагнитные влияния на оптический кабель (основные источники внешних влияний, грозовые разряды, рентгеновское и гамма-излучение при грозовых разрядах и их воздействие на оптические кабели связи, защита оптических кабелей от ударов молнии, влияние линий электропередачи на оптические кабели, воздействие электрического поля высоковольтной линии на подвесной оптический кабель).
7. Виды существующих линий доступа и их защита от внешних влияний.
8. Надежность ВОЛС.
9. Перспективы развития ВОЛС.
10. Физические принципы генерации оптического излучения.
11. Основы построения приемных оптических модулей.
12. Принципы построения и характеристики детекторов оптического излучения.
13. Принципы построения схем приемных оптических модулей некогерентных волоконно-оптических систем передачи.
14. Основы построения схем приемных оптических модулей когерентных волоконно-оптических систем передачи.
15. Основы анализа схем приемных оптических модулей некогерентных волоконно-оптических систем передачи.
16. Оценка реальной чувствительности интегрального фотоприемного устройства на pin-фотодиоде.

17. Оценка реальной чувствительности интегрального фотоприемного устройства на лавинном фотодиоде.
18. Физические принципы детектирования оптического излучения 39)  
Принципы построения и функционирования типовых волоконно-оптических систем передачи.
19. Типовые структуры и классификация волоконно-оптических систем передачи.
20. Принципы кодирования сигналов в волоконно-оптических линейных трактах.
21. Общие принципы проектирования волоконно-оптических систем передачи.

#### 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Формой контроля знаний по дисциплине «Физические основы волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)» являются две текущие аттестации в виде тестов и итоговая аттестация в виде зачета.

Неделя текущего контроля	Вид оценочного средства	Код компетенций, оценивающий знания, умения, навыки	Содержание оценочного средства	Требования к выполнению	Срок сдачи (неделя семестра)	Критерии оценки по содержанию и качеству с указанием баллов
Согласно учебному плану	тестирование	ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1	20 вопросов	Компьютерное тестирование ; время отведенное на процедуру - 30 минут	Результаты тестирования предоставляются в день проведения процедуры	Критерии оценки определяются процентным соотношением. Не явка - Удовлетворительно - от 51% правильных ответов. Хорошо - от 70%. Отлично – от 90%.
Согласно учебному плану	тестирование	ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1	20 вопросов	Компьютерное тестирование; время отведенное на процедуру – 30 минут	Результаты тестирования предоставляются в день проведения процедуры	Критерии оценки определяются процентным соотношением. Не явка -0 Удовлетворительно - от 51% правильных ответов. Хорошо - от 70%. Отлично – от 90%. Максимальная оценка – 5 баллов.
Согласно учебному плану	Зачет	ОПК-4 ОПК-11 ДОПК-1	3 вопроса	Зачет проводится в письменной форме, путем ответа на вопросы. Время, отведенное на процедуру – 30 минут.	Результаты предоставляются в день проведения зачета	Критерии оценки: <b>«Отлично»:</b> • знание основных понятий предмета; • умение использовать и применять полученные знания на практике; • работа на практических занятиях; • знание основных научных теорий, изучаемых предметов; • ответ на вопросы

					билета. <b>«Хорошо»:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• знание основных понятий предмета;</li> <li>• умение использовать и применять полученные знания на практике;</li> <li>• работа на практических занятиях;</li> <li>• знание основных научных теорий, изучаемых предметов;</li> <li>• ответы на вопросы билета</li> <li>• неправильно решено практическое задание</li> </ul> <b>«Удовлетворительно»:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• демонстрирует частичные знания по темам дисциплин;</li> <li>• незнание неумение использовать и применять полученные знания на практике;</li> <li>• не работал на практических занятиях;</li> </ul> <b>«Неудовлетворительно»:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• демонстрирует частичные знания по темам дисциплин;</li> <li>• незнание основных понятий предмета;</li> <li>• неумение использовать и применять полученные знания на практике;</li> <li>• не работал на практических занятиях;</li> <li>• не отвечает на вопросы.</li> </ul>
--	--	--	--	--	---

#### 4.1. Типовые вопросы, выносимые на тестирование

1. При увеличении диаметра сердцевины, критическая длина:

- a. Уменьшается
- b. Увеличивается
- c. Остается неизменной
- d. Исключается

Правильный ответ: b

2. Основными элементами волокна являются:

- a. Сердцевина и оболочка
- b. Сердцевина и защитный покров
- c. Сердечник и оболочка
- d. Сердечник и броня

Правильный ответ: a

3. В волкне распространяется только одна мода, когда нормированная (критическая) частота  $V$ :

- a. Меньше или равно 2.701
- b. Больше или равно 2.405
- c. Больше или равно 2.701
- d. Меньше или равно 2.405

Правильный ответ: d

4. Угол падения, при котором преломленный луч равен 90 градусам, т.е. идет вдоль границы раздела двух сред, не переходя в другую среду, называется:

- a. Осевой угол
- b. Горизонтальный угол
- c. Критический угол
- d. Аппертурный угол

Правильный ответ: c

5. Второе окно прозрачности соответствует длине волны:

- a. 1.33 мкм
- b. 1.3 мкм
- c. 1.5 мкм
- d. 0.85 мкм

Правильный ответ: b

6. К геометрическим параметрам оптического волокна относится:

- a. Относительная разность показателей преломления
- b. Угловая аппертура
- c. Радиус защитного покрытия
- d. Критический угол

Правильный ответ: c

7. Хроматическая дисперсия наиболее преобладает в:
- a. В ступенчатых многомодовых ОВ
  - b. В ОВ со специальным профилем показателя преломления
  - c. В градиентных ОВ многомодовых ОВ
  - d. В одномодовом ОВ

Правильный ответ: d

8. Волноводная дисперсия обусловлена:
- a. Зависимостью показателя преломления от длины волны
  - b. Зависимостью сердцевины и длины волны
  - c. Зависимостью коэффициента распространения моды от длины волны
  - d. Зависимостью длины от критической длины волны

Правильный ответ: c

9. Кабельные потери затухания возникают в результате:
- a. Скрутки волокон
  - b. Изгиба волокон
  - c. Деформации волокон
  - d. Температуры в месте прокладки кабеля
  - e. Воды проникающей в волокна
  - f. Влияний между волокон

Правильный ответ: a, b, c

10. Большое значение числовой апертуры NA влечет за собой:
- a. Большую межмодовую дисперсию
  - b. Большое число мод
  - c. Большое количество световых траекторий
  - d. Малое затухание

Правильный ответ: a, b, c



## 4.2. Типовые вопросы, выносимые на зачет

- 1) Общие положения теории волоконно-оптической связи.
- 2) Лучевая модель распространения оптического сигнала по волоконному световоду.
- 3) Многомодовый и одномодовый режимы функционирования волоконного световода.
- 4) Волновая модель распространения оптического сигнала по волоконному световоду.
- 5) Волноводные свойства оптических волокон.
- 6) Полуклассическая модель распространения оптического сигнала по волоконному световоду.
- 7) Общие положения теории оптической связи.
- 8) Общая характеристика оптического излучения.
- 9) Общая характеристика оптической связи.
- 10) Ослабление сигнала при его распространении по оптическому волокну.
- 11) Дисперсия сигнала при его распространении по оптическому волокну.
- 12) Общая классификация дисперсионных эффектов оптического волокна.
- 13) Нелинейные искажения сигнала при его распространении по оптическому волокну.
- 14) Линейные и нелинейные режимы распространения оптического сигнала по оптическому волокну.
- 15) Теоретические основы квантовой механики.
- 16) Общие положения квантовой теории вещества.
- 17) Основы квантовой теории твердого тела.
- 18) Основные параметры и классификация компонентов волоконно-оптической и кабельной системы.
- 19) Основы построения вводно-распределительного оборудования волоконно-оптических систем передачи.
- 20) Физические принципы построения и применения оптических элементов ветвления.
- 21) Основы построения оптических аттенуаторов, изоляторов, циркуляторов и компенсаторов дисперсии.
- 22) Теоретические основы геометрической оптики
- 23) Теоретические основы волновой оптики.
- 24) Основы построения источников излучения передающих оптических модулей.
- 25) Принципы построения комбинированных источников оптического излучения.
- 26) Основы построения и функционирования передающих оптических модулей.
- 27) Принципы построения и функционирования устройств ввода светового сигнала в оптическое волокно.
- 28) Принципы построения и характеристики модуляторов оптического сигнала.
- 29) Основы построения схем передающих оптических модулей волоконно-оптических систем передачи.

- 30) Физические принципы генерации оптического излучения.
- 31) Основы построения приемных оптических модулей.
- 32) Принципы построения и характеристики детекторов оптического излучения.
- 33) Принципы построения схем приемных оптических модулей некогерентных волоконно-оптических систем передачи.
- 34) Основы построения схем приемных оптических модулей когерентных волоконно-оптических систем передачи.
- 35) Основы анализа схем приемных оптических модулей некогерентных волоконно-оптических систем передачи.
- 36) Оценка реальной чувствительности интегрального фотоприемного устройства на pin-фотодиоде.
- 37) Оценка реальной чувствительности интегрального фотоприемного устройства на лавинном фотодиоде.
- 38) Физические принципы детектирования оптического излучения
- 39) Принципы построения и функционирования типовых волоконно-оптических систем передачи.
- 40) Типовые структуры и классификация волоконно-оптических систем передачи.
- 41) Принципы кодирования сигналов в волоконно-оптических линейных трактах.
- 42) Общие принципы проектирования волоконно-оптических систем передачи.
- 43) Основы инженерного расчета параметров волоконно-оптических систем передачи.
- 44) Принципы обоснования компонентной базы волоконно-оптических систем передачи.
- 45) Принципы построения и классификация систем беспроводной оптической связи.
- 46) Принципы повышения дальности передачи сигналов в волоконно-оптических линиях связи.



Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
Московской области

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова

Приложение 2

***ИНСТИТУТ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И  
ТЕХНОЛОГИЙ***

**КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО  
ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ  
СВЯЗИ (ВОЛС)»**

**(Приложение 2 к рабочей программе)**

**Направление:** 10.03.01 Информационная безопасность

**Профиль:** Безопасность телекоммуникационных систем (в аэрокосмической сфере)

**Уровень высшего образования:** бакалавриат

**Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр

**Форма обучения:** очная

Королев  
2022

## 1. Общие положения

**Целью** освоения дисциплины «Физические основы волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)» является изучение важнейших физических процессов, явлений и закономерностей, определяющих работу волоконно-оптических линий связи, их основные элементы, основные параметры и характеристики, области применения, формирование навыков элементарного расчета основных параметров волоконно-оптической линии связи.

В процессе обучения студент приобретает и совершенствует следующие компетенции.

ОПК-4. Способен применять необходимые физические законы и модели для решения задач профессиональной деятельности.

ОПК-11. Способен проводить эксперименты по заданной методике и обработку их результатов.

ДОПК-1. Способен применять математические модели и решать задачи помехоустойчивого кодирования при проектировании защищенных телекоммуникационных систем.

Основными **задачами** дисциплины являются:

- изучение основ физических явлений и закономерностей, определяющих работу волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний и навыков применения основных методов экспериментального исследования параметров волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний о методах и навыков анализа и систематизации результатов исследований параметров волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний о методах и навыков расчета и проектирования волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний о методах и навыков наладки, и диагностики волоконно-оптических линий связи;
- получение знаний о методах и навыков монтажа, испытаний волоконно-оптических линий связи.

## 2. Указания по проведению практических занятий

### Тема 1. Анализ пропускной способности оптических волокон

#### Практическая работа № 1

**Цель работы:** рассчитать и проанализировать теоретическую и фактическую пропускную способность оптического волокна в различных диапазонах длин волн.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить краткие сведения из теории.
2. В соответствии с последней цифрой шифра выбрать из таблицы 2 диапазон длин волн для расчета теоретической и фактической пропускной способности оптического волокна.

Таблица 2

## Диапазоны длин волн для расчета пропускной способности оптического волокна

Последняя цифра шифра	Диапазон длин волн, нм	Последняя цифра шифра	Диапазон длин волн, нм
0	<b>780–860</b> (первое окно прозрачности)	5	<b>1460–1565</b> (третье и пятое окна прозрачности)
1	<b>1260–1360</b> (второе окно прозрачности)	6	<b>1460–1625</b> (третье, четвертое и пятое окна прозрачности)
2	<b>1260–1460</b> (второе расширенное окно прозрачности)	7	<b>1530–1675</b> (третье и четвертое расширенное окна прозрачности)
3	<b>1530–1565</b> (третье окно прозрачности)	8	<b>1460–1675</b> (третье, четвертое расширенное и пятое окна прозрачности)
4	<b>1530–1625</b> (третье и четвертое окна прозрачности)	9	<b>1260–1675</b> (вся область малых потерь)

3. В соответствии с первой цифрой шифра выбрать из таблицы 3 значение параметра ОСШ. В соответствии с последней цифрой шифра выбрать из таблицы 3 количество уровней сигнала ( $M$ ).

4. Используя формулы (1) и (2), рассчитать теоретическую пропускную способность оптического волокна в заданном диапазоне длин волн.

5. Используя формулы (3) и (4), рассчитать фактическую пропускную способность оптического волокна в заданном диапазоне длин волн с учетом наличия в канале связи белого гауссовского шума.

Таблица 3

ОСШ и количество уровней импульсов оптического сигнала для расчета пропускной способности оптического волокна

Первая цифра шифра	ОСШ, дБ	Последняя цифра шифра	Количество уровней
0	<b>10</b>	0	<b>2</b>
1	<b>15</b>	1	<b>4</b>
2	<b>20</b>	2	<b>32</b>
3	<b>24</b>	3	<b>16</b>
4	<b>28</b>	4	<b>8</b>
5	<b>30</b>	5	<b>8</b>
6	<b>32</b>	6	<b>32</b>
7	<b>35</b>	7	<b>16</b>
8	<b>37</b>	8	<b>4</b>
9	<b>40</b>	9	<b>2</b>

6 Построить график зависимости фактической пропускной способности оптического волокна в заданном диапазоне длин волн от величины ОСШ для всех предложенных в таблице 3 значений.

7. Определить эффективное количество возможных уровней импульсов оптического сигнала, приравняв теоретическую пропускную способность оптического волокна в заданном диапазоне длин волн к фактической (формулы (1) и (3)):

$$V = C;$$

$$2\Delta F \cdot \log_2(M) = \Delta F \cdot \log_2\left(1 + \frac{P_c}{P_m}\right);$$

$$M = ?$$

8. Сравнить полученные результаты расчетов теоретической и фактической пропускной способности оптического волокна и сделать выводы.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Исходные данные для выполнения практической работы.
3. Расчет теоретической пропускной способности оптического волокна.
4. Расчет фактической пропускной способности оптического волокна.
5. График зависимости фактической пропускной способности оптического волокна в заданном диапазоне длин волн от величины ОСШ.
6. Расчет эффективного количества возможных уровней импульсов оптического сигнала.
7. Вывод по работе.

Контрольные вопросы

1. Причины затухания в оптоволокне.
2. Что такое Релеевское рассеяние?
3. Окна прозрачности.
4. Критерий Найквиста.
5. Формула Шеннона.

## **Тема 2. Расчет вероятности битовой ошибки в волоконно-оптических системах передачи**

### **Практическая работа № 2**

Цель работы: определить и проанализировать вероятность битовой ошибки системы передачи информации с волоконно-оптическим кабелем в качестве среды передачи при заданных параметрах.

Порядок выполнения работы

1. Изучить краткие сведения из теории.
2. В соответствии с последней цифрой шифра из таблицы 2 предыдущей практической работы выбрать диапазон длин волн оптического сигнала и перевести его в диапазон частот.
3. В соответствии с цифрами шифра выбрать из таблицы 1 скорость передачи информации, вид модуляции и количество уровней, которые может принимать сигнал.

Таблица 2

Скорости передачи информации, виды модуляции и количество уровней, которые может принимать оптический сигнал

Первая цифра шифра	Скорость передачи информации, бит/с	Последняя цифра шифра	Вид модуляции
0	155 520 000	0	BASK
1	622 080 000	1	BPSK
2	2 488 320 000	2	DBPSK
3	9 953 280 000	3	QPSK
4	39 813 120 000	4	DQPSK
5	155 520 000	5	8-PSK
6	622 080 000	6	D8PSK
7	2 488 320 000	7	16-QAM
8	9 953 280 000	8	64-QAM
9	39 813 120 000	9	256-QAM

4. Рассчитать по формуле (4) отношение энергии сигнала, приходящейся на один бит, к спектральной плотности мощности аддитивного белого Гауссовского шума.
5. Рассчитать вероятности бинарной ошибки цифровой системы передачи, используя формулы (5)–(11).
6. Построить график зависимости вероятности бинарной ошибки от соотношения  $E_{\text{бит}}/N_0$  для заданного вида модуляции и сделать выводы.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Исходные данные для выполнения практической работы.
3. Расчет отношения энергии сигнала, приходящейся на один бит, к спектральной плотности мощности аддитивного белого гауссовского шума.
4. Расчет вероятностей бинарной ошибки цифровой системы передачи.
5. График зависимости вероятности бинарной ошибки от соотношения  $E_{\text{бит}}/N_0$  для заданного вида модуляции.
6. Вывод по работе.

Контрольные вопросы

1. Связь энергии и мощности сигнала.
2. Виды модуляций и их различия.
3. Квадратурная амплитудная модуляция.

**Тема 3. Расчет потерь оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон**

Практическая работа № 3

Цель работы: оценить потери оптических сигналов в разъемных соединителях.

Порядок выполнения работы

1. Изучить краткие сведения из теории.
2. В соответствии с шифром из таблиц 1, 2 и 3 выбрать исходные данные для расчета потерь оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон.

Таблица 1

Исходные данные первого волокна для расчета потерь оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон

Первая цифра шифра	$d_1$ , мкм	$D_1$ , мкм	$NA_1$	$n_1$
0	9,5	8,0	0,100	1,483
1	9,9	8,2	0,105	1,481
2	10,3	8,4	0,110	1,479
3	10,7	8,6	0,115	1,477
4	11,1	8,8	0,120	1,475
5	11,5	9,0	0,130	1,473
6	11,9	9,2	0,135	1,471
7	12,3	9,4	0,140	1,469
8	12,7	9,6	0,145	1,467
9	13,1	9,8	0,150	1,465

Таблица 2

Исходные данные второго волокна для расчета потерь оптического сигнала в разъёмных соединителях оптических волокон

Последняя цифра шифра	$d_2$ , мкм	$D_2$ , мкм	$NA_2$	$n_2$
0	13,3	9,9	0,103	1,466
1	12,9	9,7	0,108	1,468
2	12,5	9,5	0,113	1,470
3	12,1	9,3	0,118	1,472
4	11,7	9,1	0,123	1,474
5	11,3	8,9	0,128	1,476
6	10,9	8,7	0,133	1,478
7	10,5	8,5	0,138	1,480
8	10,1	8,3	0,143	1,482
9	9,7	8,1	0,148	1,484

3. По формулам (2) и (3) рассчитать вносимые потери, вызванные осевым и угловым смещением оптических волокон в разъёме.
4. По формулам (4)–(7) рассчитать вносимые потери, вызванные внутренними факторами разъёмов.
5. Вычислить суммарные потери оптического сигнала в разъёмных соединителях оптических волокон.
6. Построить график зависимости потерь оптического сигнала в разъёмных соединителях оптических волокон от величины осевого смещения одного волокна относительно другого в диапазоне от 0 до 2 мкм.

Таблица 3

Длина волны, величины осевого и углового смещения, показатель преломления среды, заполняющей зазор в разветвителе

Последняя цифра суммы первой и последней цифр шифра	$\lambda$ , нм	$L$ , мкм	$\Theta^\circ$	$n$
0	1537,40	1,4	0,5	1,10
1	1538,98	1,2	1,5	1,09
2	1540,56	1,0	2,5	1,08
3	1542,14	0,8	3,5	1,07
4	1543,73	0,6	4,5	1,06



5	1545,32	0,5	5,0	1,05
6	1546,92	0,7	4,0	1,04
7	1548,51	0,9	3,0	1,03
8	1550,12	1,1	2,0	1,02
9	1551,72	1,3	1,0	1,01

7. Построить график зависимости потерь оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон от величины углового смещения осей соединяемых волокон в диапазоне от 0 до 7°.

8. Построить график зависимости потерь оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон из-за потерь, вызванных различием величины показателя преломления сердцевин волокон, а также профиля показателя преломления (ступенька, градиент) от показателя преломления среды, заполняющего зазор между волокнами в диапазоне от 1 до 2.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Исходные данные для выполнения практической работы.
3. Расчет вносимых потерь, вызванных осевым и угловым смещением оптических волокон в разьеме.
4. Расчет вносимых потерь вызванных внутренними факторами разъемов.
5. График зависимости потерь оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон от величины осевого смещения одного волокна относительно другого.
- 6 График зависимости потерь оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон от величины углового смещения осей соединяемых волокон.
- 7 Вывод по работе.

#### Контрольные вопросы

1. Назначение и параметры оптических соединителей.
2. Внешние факторы, влияющие на потери в оптических соединителях.
3. Внутренние факторы, влияющие на потери в оптических соединителях.
4. Суть Френелевского отражения.

### Тема 4. Расчет каскада оптических усилителей EDFA

#### Практическая работа № 4

Цель работы: исследовать затухание волоконно-оптической линии связи, определить необходимость установки усилительных и регенерационных пунктов.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить краткие сведения из теории.
2. В соответствии с шифром выбрать исходные данные для расчета каскада оптических усилителей EDFA из таблицы 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета каскада оптических усилителей EDFA

Параметр	Первая цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Километрическое затухание волокна ( $\alpha_{км}$ ), дБ/км	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29
Строительная длина кабеля ( $L_{стр}$ ), км	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2
Длина волны передачи оптического сигнала ( $\lambda$ ), нм	1532,68	1540,56	1548,51	1556,55	1528,77	1550,12	1560,61	1552,52	1544,53	1536,61
Параметр	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Затухание в неразъемных соединителях ( $\beta_{н}$ ), дБ	0,050	0,070	0,080	0,065	0,045	0,060	0,040	0,055	0,075	0,085
Полоса частот, в которой осуществляется передача сигнала ( $\Delta f$ ), ГГц	100	50	200	100	50	50	100	200	50	100
Нормированное ОСШ, дБ	27	26,5	26	25,5	25	22,5	23	23,5	24	24,5

3 Принять следующие параметры для расчета каскада оптических усилителей EDFA:

- уровень сигнала на передающей стороне  $p_{пер} = 7$  дБ;
- требуемый уровень сигнала на приемной стороне  $p_{пр} = -13$  дБ;
- количество разъемных соединителей в линии связи  $n_p = 2$ ;
- затухание в разъемном соединителе  $\beta_p = 0,4$  дБ;
- необходимый энергетический запас мощности сигнала, связанный с потерями из-за старения элементов оптического тракта: источника излучения, волоконно-оптического кабеля, оптоэлектронного преобразователя и изменения параметров электрических схем,  $A_{зап} = 3$  дБ;
- потери при вводе оптической энергии в волокно, когда источник оптического излучения непосредственно подсоединяется к стационарному кабелю,  $\beta_{вв} = 2$  дБ.

4. Вычислить протяженность волоконно-оптической линии связи, км:

$$L = -\frac{N^3}{500} + \frac{N^2}{4} - 2N + 500, \quad (14)$$

где  $N$  – двузначный номер шифра.

5. По формулам (2)–(4) рассчитать длину усилительного участка.

6. Рассчитать частоту оптического сигнала в соответствии с используемой длиной волны:

$$f = \frac{c}{\lambda}, \quad (15)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме,  $3 \cdot 10^8$  м/с.

7. Рассчитать коэффициент усиления усилителя:

$$G = \frac{P_{\text{пер}}}{P_{\text{пр}}} = 10^{\frac{P_{\text{пер}} - P_{\text{пр}}}{10}} \quad (16)$$

8. По формулам (5)–(12) рассчитать каскад оптических усилителей EDFA, результаты расчетов оформить в виде таблицы 2.

Таблица 2

Результаты расчета каскада оптических усилителей EDFA

Номер усилителя	Уровень сигнала на входе усилителя, дБ	Уровень сигнала на выходе усилителя, дБ	Уровень шума на входе усилителя, дБ	Уровень шума на выходе усилителя, дБ	ОСШ, дБ
1	-13	7			
2	-13	7			
3	-13	7			
4	-13	7			
5	-13	7			
и т. д.	-13	7			

9. По результатам расчетов построить график в соответствии с образцом, представленным на рисунке 1. Графически определить и рассчитать по формуле (13) длину регенерационного участка волоконно-оптической линии связи.

10. По результатам расчетов составить структурную схему расположения линейного оборудования волоконно-оптической линии связи.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Результаты расчета каскада оптических усилителей EDFA в табличном и графическом виде.
3. Результаты расчета длины регенерационного участка волоконно-оптической линии связи.
4. Структурная схема расположения линейного оборудования волоконно-оптической линии связи.
5. Вывод по работе.

#### Контрольные вопросы

1. Особенности EDFA-усилителей.
2. Как определяются суммарные потери?
3. Что такое ASE?
4. Причины накопления шумов в волоконно-оптической линии связи.

### Тема 5. Расчет дисперсии оптического сигнала

#### Практическая работа № 5

Цель работы: рассчитать дисперсию оптического сигнала и определить необходимые мероприятия по ее компенсации.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить краткие сведения из теории.
2. В соответствии с шифром выбрать из таблицы 2 наклон

дисперсионной кривой одномодового волокна на длине волны нулевой дисперсии и длину волны нулевой дисперсии.

Таблица 2

Исходные данные для расчета дисперсии оптического сигнала

Первая цифра шифра	Наклон дисперсионной кривой одномодового волокна на длине волны нулевой дисперсии ( $S_0$ ), $\text{пс}/(\text{нм}^2 \cdot \text{км})$	Последняя цифра шифра	Длина волны нулевой дисперсии ( $\lambda_0$ ), нм
0	0,068	0	1260
1	0,071	1	1270
2	0,074	2	1280
3	0,077	3	1290
4	0,080	4	1300
5	0,083	5	1305
6	0,086	6	1310
7	0,089	7	1315
8	0,092	8	1320
9	0,095	9	1325

3. Используя исходные данные предыдущей практической работы, в соответствии с шифром рассчитать удельную хроматическую дисперсию, ширину спектра передаваемого сигнала и хроматическую дисперсию по формулам (2)–(4).

4. Разделить волоконно-оптическую линию связи на подучастки, которые ограничиваются оконечными системами передачи и регенераторами. Для каждого подучастка определить количество модулей компенсации дисперсии, которые будут устанавливаться на всех усилителях, а также на устройствах, ограничивающих подучастки (системы передачи и регенераторы).

5. Используя формулы (5) и (6), рассчитать дисперсию модулей компенсации и всех элементарных отрезков волоконно-оптической линии связи между ними для каждого из подучастков волоконно-оптической линии связи.

6. Построить график изменения хроматической дисперсии оптического сигнала на протяжении волоконно-оптической линии связи, совмещенный со структурной схемой расположения линейного оборудования, составленной в предыдущей практической работе.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Результаты расчета удельной хроматической дисперсии, ширины спектра передаваемого сигнала и хроматической дисперсии оптического сигнала.

3. Результаты расчета дисперсии модулей компенсации и всех элементарных отрезков волоконно-оптической линии связи между ними для каждого из подучастков волоконно-оптической линии связи.

4. График изменения хроматической дисперсии оптического сигнала на протяжении волоконно-оптической линии связи, совмещенный со структурной схемой расположения линейного оборудования.

## 5. Вывод по работе.

### Контрольные вопросы

1. Что такое дисперсия оптического сигнала?
2. Виды дисперсии.
3. Назначение оптических волокон со смещенной дисперсией.
4. Назначение оптических волокон с ненулевой смещенной дисперсией.
5. Способы борьбы с дисперсией.

## 3. Указания по проведению лабораторного практикума

Не предусмотрены учебным планом

### 4. Указания по проведению самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов (СРС) основана на самостоятельном формировании у учащихся знаний, умений, навыков и компетенций и направлена на реализацию принципов обучения, связанных с саморазвитием личности в процессе обучения, формированием активных методов и технологий познавательной деятельности.

В соответствии с общим объемом часов, отведенных для изучения дисциплины, предусматривается выполнение следующих видов самостоятельных работ студентов (СРС): самостоятельное изучение теоретического материала с самоконтролем по приведенным ниже вопросам, изучение теоретического материала при подготовке к защите лабораторных работ, итоговое повторение теоретического материала при подготовке к экзамену.

При организации самостоятельной работы студентов на преподавателей возлагается управление, включающее планирование работы, консультирование студентов, текущий контроль и анализ результатов учебной работы. При этом планируемый объем СРС занимает большую часть учебной нагрузки студентов университета. Основными видами самостоятельной работы студентов без участия преподавателей при освоении в университете образовательных программ являются: – формирование и изучение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы; – написание рефератов;

– подготовка к лабораторным работам, их оформление; – компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов; Основными видами самостоятельной работы студентов с участием преподавателя для ее управления в учебном процессе являются: – текущие консультации и контроль по формированию и освоению теоретического содержания дисциплин; – прием и защита лабораторных работ; – консультирование и прием рефератов; – консультирование по результатам текущего компьютерного контроля знаний; – прием экзамена по дисциплине.

При написании реферата или подготовке к выполнению домашнего задания в форме доклада следует предварительно изучить соответствующий

материал по предлагаемой теме. Для этого можно воспользоваться конспектом лекций, презентацией курса, литературой по заданной теме.

Объем времени на самостоятельную работу, и виды самостоятельной работы представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Объем времени и виды самостоятельной работы**

Виды самостоятельной работы	Очная форма обучения
	Всего академических часов
Всего часов на самостоятельную работу	<b>36</b>
Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	8
Подготовка к практическим занятиям	8
Подготовка к лабораторным занятиям	-
Подготовка докладов	8
Выполнение практических заданий	8

**Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение:  
для очной формы обучения:**

- 1) Общие положения теории волоконно-оптической связи.
- 2) Лучевая модель распространения оптического сигнала по волоконному световоду.
- 3) Многомодовый и одномодовый режимы функционирования волоконного световода.
- 4) Волновая модель распространения оптического сигнала по волоконному световоду.
- 5) Волноводные свойства оптических волокон.
- 6) Полуклассическая модель распространения оптического сигнала по волоконному световоду.
- 7) Общие положения теории оптической связи.
- 8) Общая характеристика оптического излучения.
- 9) Общая характеристика оптической связи.
- 10) Ослабление сигнала при его распространении по оптическому волокну.
- 11) Дисперсия сигнала при его распространении по оптическому волокну.
- 12) Общая классификация дисперсионных эффектов оптического волокна.
- 13) Нелинейные искажения сигнала при его распространении по оптическому волокну.
- 14) Линейные и нелинейные режимы распространения оптического сигнала по оптическому волокну.
- 15) Теоретические основы квантовой механики.
- 16) Общие положения квантовой теории вещества.
- 17) Основы квантовой теории твердого тела.
- 18) Основные параметры и классификация компонентов волоконно-оптической и кабельной системы.

19) Основы построения вводно-распределительного оборудования волоконно-оптических систем передачи.

20) Физические принципы построения и применения оптических элементов ветвления.

Тематическое содержание самостоятельной работы представлено в таблице 2.

Таблица 2

**Тематическое содержание самостоятельной работы**

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Количество часов	Перечень заданий
1.	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	8	Изучение открытых источников
2.	Подготовка к практическим занятиям	8	Изучение открытых источников при подготовке доклада на выбранную тему.
3.	Подготовка к лабораторным занятиям	-	-
4.	Тематика докладов	8	Методы анализа линейных и нелинейных электрических цепей
5.	Выполнение практических заданий	8	Расчет электрических характеристик заданных электрических цепей

**4.1 Примерные темы докладов**

1. Основы построения оптических аттенюаторов, изоляторов, циркуляторов и компенсаторов дисперсии.
2. Теоретические основы геометрической оптики
3. Теоретические основы волновой оптики.
4. Основы построения источников излучения передающих оптических модулей.
5. Принципы построения комбинированных источников оптического излучения.
6. Основы построения и функционирования передающих оптических модулей.
7. Принципы построения и функционирования устройств ввода светового сигнала в оптическое волокно.
8. Принципы построения и характеристики модуляторов оптического сигнала.
9. Основы построения схем передающих оптических модулей волоконно-оптических систем передачи.
10. Физические принципы генерации оптического излучения.
11. Основы построения приемных оптических модулей.
12. Принципы построения и характеристики детекторов оптического излучения.

13. Принципы построения схем приемных оптических модулей некогерентных волоконно-оптических систем передачи.
14. Основы построения схем приемных оптических модулей когерентных волоконно-оптических систем передачи.
15. Основы анализа схем приемных оптических модулей некогерентных волоконно-оптических систем передачи.
16. Оценка реальной чувствительности интегрального фотоприемного устройства на pin-фотодиоде.
17. Оценка реальной чувствительности интегрального фотоприемного устройства на лавинном фотодиоде.
18. Физические принципы детектирования оптического излучения39)  
Принципы построения и функционирования типовых волоконно-оптических систем передачи.
19. Типовые структуры и классификация волоконно-оптических систем передачи.

## **5. Указания по проведению контрольных работ для обучающихся очной формы обучения**

### **5.1. Требования к структуре**

Структура контрольной работы должна способствовать раскрытию темы: иметь титульный лист, содержание, введение, основную часть, заключение, список литературы.

### **5.2. Требования к содержанию (основной части)**

Во введении обосновывается актуальность темы, определяется цель работы, задачи и методы исследования.

Основная часть работы раскрывает процесс проектирования заданного аппаратного устройства и должна содержать соответствующие таблицы или временные диаграммы, которые должны формироваться разрабатываемым устройством, принципиальную схему устройства и описание его работы.

В процессе изложения материала необходимо давать ссылки на используемую литературу.

Заключение должно содержать сделанные автором работы выводы, итоги исследования.

Вслед за заключением идет список литературы, который должен быть составлен в соответствии с установленными требованиями.

### **5.3. Требования к оформлению**

Объем контрольной работы – 5-6 страниц формата А 4, напечатанного с одной стороны текста (1,5 интервал, шрифт Times New Roman).

## **6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

**Основная литература:**



1. Еременко В.Т. Физические основы построения волоконно-оптических систем передачи информации: учебник / И.А. Саитов, В.Т. Еременко. - Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, РГГУ, 2017. - 502 с.  
<http://oreluniver.ru/edu/description/10.03.01/913/a/o/2018>
3. Соколов, С.А. Волоконно-оптические линии связи и их защита от внешних влияний : учеб. пособие / С.А. Соколов. - Москва : Инфра-Инженерия, 2019. - 172 с. - ISBN 978-5-9729-266-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1053404> (дата обращения: 19.02.2023). – Режим доступа: по подписке.
4. Варданян В.А. Расчет характеристических параметров компонентов волоконно-оптических систем связи [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие/ Варданян В.А.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2015.— 38 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45486.html>.— ЭБС «IPRbooks»

#### **Дополнительная литература**

1. Мандель А.Е. Методы и средства измерения в волоконно-оптических телекоммуникационных системах [Электронный ресурс]: учебное пособие/Мандель А.Е.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 120 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14015.html>.— ЭБС «IPRbooks»
2. Ефанов В.И. Электрические и волоконно-оптические линии связи [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ефанов В.И.— Электрон. Текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 149 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14032.html>.— ЭБС «IPRbooks»

#### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

- Справочная-правовая система "Консультант плюс"
- Электронно-библиотечная система "Лань"
- Электронно-библиотечная система IPRbooks
- Электронно-библиотечная система eLibrary

#### **9. Перечень информационных технологий**

**Перечень программного обеспечения:** MSOffice

**Информационные справочные системы:**

Ресурсы информационно-образовательной среды университета.