

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**  
**(РУТ (МИИТ))**



Рабочая программа дисциплины (модуля),  
как компонент образовательной программы  
высшего образования - программы бакалавриата  
по направлению подготовки  
11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и  
системы связи,  
утвержденной директором РУТ (МИИТ)  
Игольниковым Б.В.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **Оптические телекоммуникационные системы**

Направление подготовки: 11.03.02                      Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи

Направленность (профиль): Системы мобильной связи и сетевые  
технологии на транспорте

Форма обучения:    Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде  
электронного документа выгружена из единой  
корпоративной информационной системы управления  
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)  
ID подписи: 167783  
Подписал: руководитель образовательной программы  
Киселёва Анастасия Сергеевна  
Дата: 26.12.2024

### 1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целью освоения учебной дисциплины «Оптические телекоммуникационные системы» является формирование у обучающихся знаний о принципах работы оптических телекоммуникационных систем, освоение основ физики потяки и теории передачи информации через оптические волокна.

Задачи дисциплины являются:

- изучение основ оптики;
- анализ структуры и характеристик оптических волокон;
- изучение методов модуляции и демодуляции сигналов;
- изучение систем усиления оптических сигналов.

### 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

**ПК-10** - Способен эксплуатировать и развивать транспортные сети и сети передачи данных, включая спутниковые системы.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

#### **Знать:**

- виды и принципы функционирования транспортных сетей и сетей передачи данных, включая спутниковые системы, принципы построения цифровых волоконно-оптических систем передачи; - методы расчета их основных параметров и характеристик.

#### **Уметь:**

- определять структуру и выбирать тип используемого оборудования оптических цифровых телекоммуникационных систем в зависимости от предъявляемых к ним технических требований;

- эксплуатировать транспортные сети и сети передачи данных, включая спутниковые системы.

#### **Владеть:**

- навыками развития транспортных сетей и сетей передачи данных, включая спутниковые системы, а также навыками по расчету основных параметров цифровых волоконно-оптических систем передачи.

### 3. Объем дисциплины (модуля).

### 3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 4 з.е. (144 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов	
	Всего	Семестр №7
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	64	64
В том числе:		
Занятия лекционного типа	16	16
Занятия семинарского типа	48	48

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 80 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

## 4. Содержание дисциплины (модуля).

### 4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	<b>Введение</b> Рассматриваемые вопросы: - виды и классификация ЦВОСП; - краткие сведения о Взаимоуязвленной сети связи (ВСС) Российской Федерации; - обобщенная структурная схема оптических систем передачи; - одноволоконные и двухволоконные схемы организации двухсторонней связи; - приемопередатчик первичной ЦВОСП, устройство и назначение его узлов;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- кодеки с линейной и нелинейной амплитудной характеристикой; - генераторное оборудование. Формирователь линейного сигнала, его структура и алгоритм работы.
2	<b>Цифровые волоконно-оптические линейные тракты (ЦВОЛТ)</b> Рассматриваемые вопросы: - особенности передачи сигналов по оптическим линейным трактам, методы модуляции и демодуляции оптической несущей; - структура цифровых волоконно-оптических линейных трактов. - основные характеристики передающих (ПОМ) и приемных (ПрОМ) оптических модулей, оптических усилителей; - одноволоконные и двухволоконные схемы организации линейных трактов; - стыки ЦВОЛТ и цифровых каналов и трактов передачи.
3	<b>Принципы построения ЦВОСП</b> Рассматриваемые вопросы: - определение понятия цикла передачи; - структура цикла передачи первичной цифровой системы передачи; - сверхцикл передачи. Способы объединения цифровых потоков; - синхронное объединение потоков, понятие о временном сдвиге, структура оборудования синхронного временного группообразования (ВГ); - асинхронное объединение потоков, понятие о временной неоднородности, одно и двухстороннее согласование скоростей передачи объединяемых потоков; - фазовые флуктуации при ВГ; - иерархический принцип построения цифровых телекоммуникационных систем передачи; - плезиохронные цифровые иерархии (ПЦИ), их особенности; - параметры цифровых трактов ПЦИ и основного цифрового канала (ОЦК), нормирование параметров; - параметры канала ТЧ, организованного посредством цифровых систем передачи; - синхронная цифровая иерархия (СЦИ), принципы формирования транспортных структур СЦИ, особенности топологии сети СЦИ, принципы синхронизации сетевых элементов СЦИ и управления сетевыми элементами; - основные параметры трактов СЦИ.
4	<b>Системы синхронизации ЦВОСП</b> Рассматриваемые вопросы: Виды синхронизации в ЦВОСП. Тактовая синхронизация, работа выделителя тактовой частоты (ВТЧ), фазовые флуктуации выделенного синхросигнала, способы улучшения параметров ВТЧ. Структурные схемы устройств выделения тактовой частоты резонансным методом и устройствами с ФАПЧ. Цикловая и сверхцикловая синхронизация. Принцип скользящего поиска синхросигнала. Пути повышения быстродействия системы цикловой синхронизации применением адаптивных приемников. Особенности работы подсистем синхронизации в системах передачи высших порядков. Структура адаптивного приемника синхросигнала.
5	<b>Линейные коды ЦВОЛТ и скремблирование</b> Рассматриваемые вопросы: - общие сведения о кодировании сигналов в цифровых системах передачи; - линейные и стыковые коды; - требования к линейным кодам в ВОСП и критерии их выбора; - типы линейных кодов и их основные параметры; - линейные коды класса 1В2В. Коды NRZ, RZ, BI-L, BI-S, DBI, CMI, EP-1, EP-2, код Миллера, их алгоритмы образования, спектральные и временные характеристики; - цифровые суммы кодов и применения текущих цифровых сумм в алгоритмах контроля ошибок на линии; - области применения различных кодов класса 1В2В. - блочные коды mBnB, принципы их формирования и возможные алгоритмы образования; - характеристики блочных кодов, используемых в высокоскоростных волоконно-оптических системах связи; - преобразования стыковых и линейных кодов в ВОСП;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- задача скремблирования и основные принципы построения скремблера;</li> <li>- псевдослучайные последовательности чисел и их свойства; - примитивные полиномы и генераторы псевдослучайных чисел на сдвиговых регистрах;</li> <li>- схемы скремблеров и дескремблеров.</li> </ul>
6	<p><b>Помехоустойчивость и оптимизация приема сигналов в ЦВОСП</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методические основы расчета помехоустойчивости ВОСП;</li> <li>- шумы фотодетекторов на рпн-фотодиодах и лавинных фотодиодах;</li> <li>- шумы входных усилителей на биполярных и полевых транзисторах;</li> <li>- пороги чувствительности цифровых фотоприемных устройств;</li> <li>- вероятность ошибок при принятии решений в цифровых ФПУ при распределения шумов по нормальному закону;</li> <li>- квантовые шумы;</li> <li>- вероятности ошибок при распределении числа фотоэлектронов по закону Пуассона;</li> <li>- расчет помехоустойчивости и чувствительности цифровой ВОСП при учете различных составляющих шумов фотоприемного устройства;</li> <li>- квантовый предел;</li> <li>- вероятности ошибок при приеме оптических сигналов с флуктуирующей интенсивностью и условно - пуассоновском распределении числа фотоэлектронов;</li> <li>- использование оптимальных фильтров для минимизации межсимвольной интерференции;</li> <li>- структурная оптимизация приема сигналов приемником с прямым фотодетектированием в цифровых ВОСП с двоичной модуляцией интенсивности;</li> <li>- отношение правдоподобия и оптимальные алгоритмы обработки сигналов в случае гауссовых шумов;</li> <li>- оптимальные алгоритмы при шумах с пуассоновской статистикой;</li> <li>- оптимальные алгоритмы обработки для цифровых ВОСП с сигналами равных энергий;</li> <li>- корреляционная обработка и линейная фильтрация в оптимальном приемнике биимпульсных сигналов в ВОСП;</li> <li>- примеры расчета волоконно-оптических систем связи при заданной вероятности ошибки приема.</li> </ul>
7	<p><b>Аппаратура ЦВОСП</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- аппаратура ЦВОСП для местного, внутризонового и магистрального участков сети плезиохронной иерархии;</li> <li>- функциональные модули аппаратуры ЦВОСП: мультиплексоры, регенераторы, коммутаторы и др;</li> <li>- основные узлы отечественной аппаратуры ВОСП на основе ИКМ;</li> <li>- транспортная система SDH и ее элементы;</li> <li>- строение информационной сети;</li> <li>- основные информационные цифровые структуры SDH;</li> <li>- структура STM-N транспортных модулей;</li> <li>- секционные заголовки, их структура и назначение элементов;</li> <li>- принципы контроля ошибок передачи;</li> <li>- виртуальные контейнеры, ранги виртуальных контейнеров и их структура;</li> <li>- структура мультиплексирования в SDH;</li> <li>- формирование субблоков TU-n, административных блоков AUG, групп административных блоков AUG-n и транспортных модулей;</li> <li>- пример схемы формирования модуля STM-1;</li> <li>- процессы выравнивания в SDH и роль указателей в этих процессах;</li> <li>- сборка транспортных модулей STM-N;</li> <li>- примеры формирования STM-4, STM-16;</li> <li>- функциональные модули сетей SDH;</li> <li>- типы мультиплексоров, концентраторов, регенераторов и коммутаторов SDH сетей и принципы их использования;</li> </ul>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- аппаратная реализация основных функциональных модулей и их параметры;</li> <li>- топология сетей SDH;</li> <li>- методы защиты информационных потоков;</li> <li>- функциональная схема когерентной ВОСП;</li> <li>- когерентное оптическое детектирование;</li> <li>- гетеродинный и гомодинный прием;</li> <li>- системы с амплитудной, фазовой, частотной и поляризационной манипуляцией;</li> <li>- типы лазеров в когерентных ВОСП, основные требования к лазерам.</li> </ul>
8	<p><b>Регенерация сигналов в ЦВОЛТ</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- принципы регенерации цифровых оптических сигналов;</li> <li>- помехи и искажения в каналах и трактах ЦВОСП;</li> <li>- структура линейного регенератора ЦВОЛТ;</li> <li>- применение оптических усилителей на участках регенерации;</li> <li>- помехоустойчивость линейного регенератора ЦВОЛТ при двухуровневом линейном кодировании;</li> <li>- оценка помехоустойчивости регенератора с использованием глаз-диаграммы;</li> <li>- основные рекомендации МСЭ-Т в области цифровой оптической связи;</li> <li>- распределение ошибок на национальных и международных участках цифровой сети, расчет удельного коэффициента ошибок;</li> <li>- нормирование фазовых флуктуаций;</li> <li>- энергетический потенциал ЦВОСП;</li> <li>- расчет длины участка регенерации ЦВОЛТ при ограничении затуханием и дисперсионными искажениями.</li> </ul>

## 4.2. Занятия семинарского типа.

### Лабораторные работы

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
1	<p><b>Цифровые волоконно-оптические линейные тракты.</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- расчет параметров системы группирования цифровых потоков.</li> </ul>
2	<p><b>Линейные коды ЦВОЛТ и скремблирование.</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- кодирование в ВОСП.</li> </ul>
3	<p><b>Временное группообразование цифровых потоков</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- объединение и разделение цифровых сигналов.</li> </ul>
4	<p><b>Временное группообразование цифровых потоков</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- особенности передачи информации в потоке E1, E2.</li> </ul>
5	<p><b>Временное группообразование цифровых потоков</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- особенности передачи информации в потоке E3, E4.</li> </ul>
6	<p><b>Сварка оптического волокна</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- что такое варка оптического волокна и какова ее цель</li> <li>- каковы этапы процесса варки (подготовка, нагрев, формирование)</li> <li>- инструменты и оборудование, используемое для варки оптического волокна.</li> </ul>

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
7	Расчет защищенности и предельной протяженности регенерационной секции ВОСП-СР Рассматриваемые вопросы: - расчет защищенности от шумов на усилительных участках.
8	Оценка быстродействия ВОСП Рассматриваемые вопросы: - расчет быстродействия и коэффициента запаса.
9	Геометрическая оптика. Распространение света Рассматриваемые вопросы: - угол падения, угол отражения. Закон Снеллиуса.
10	Определение параметров качества каналов и трактов Рассматриваемые вопросы: - определение вероятности ошибки для регенерационного участка ВОЛС.

### Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Принципы построения ЦВОСП. Рассматриваемые вопросы: - основы оптической связи; - типы оптических волокон; - модуляция и демодуляция сигналов; - определение понятия цикла передачи.
2	Линейные коды ЦВОЛТ и скремблирование. Рассматриваемые вопросы: - преобразования стыковых и линейных кодов в ВОСП; - задача скремблирования и основные принципы построения скремблера.
3	Помехоустойчивость и оптимизация приема сигналов в ЦВОСП. Рассматриваемые вопросы: - типы помех; - методы оценки помехоустойчивости; - оптимизация приема сигналов; - технологии модуляции и кодирования; - расчет помехоустойчивости ВОСП.
4	Транспортная система SDH и ее элементы. Рассматриваемые вопросы: - структура иерархии SDH, включая основные уровни (STM-1, STM-4, STM-16 и т.д.) - управление и мониторинг сетей SDH; - схемы защиты и восстановления данных, которые реализуются в SDH; - строение информационной сети.
5	Транспортная система SDH и ее элементы Рассматриваемые вопросы: - структура фрейма STM.
6	Транспортная система SDH и ее элементы Рассматриваемые вопросы: - особенности передачи информации.
7	Транспортная система WDM и ее элементы Рассматриваемые вопросы: - технология и особенности передачи.

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
8	Транспортная система WDM и ее элементы Рассматриваемые вопросы: - архитектура системы WDM, мультиплексоры, демультимплексоры и оптические усилители; - виды WDM (например, CWDM, DWDM) и в чем их отличия; - реализация схем защиты и восстановления данных в WDM-системах; - элементы транспортной системы и строение сети.

#### 4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Подготовка к практическим занятиям
2	Работа с лекционным материалом, литературой, самостоятельное изучение разделов (тем) дисциплины (модуля)
3	Выполнение курсового проекта.
4	Подготовка к промежуточной аттестации.
5	Подготовка к текущему контролю.

#### 4.4. Примерный перечень тем курсовых проектов

Курсовая работа на тему: «Проектирование трактов ОЦТС на основе систем с временным, спектральным и частотным уплотнением каналов».

Исходные данные выбираются согласно варианту:

Проектируемый участок, станция/количество выделяемых волн:

1. Мармыж – Орел, Поныри / 4
2. Поныри – Ясногорск, Мценск / 5
3. Орел – Столбовая, Тула / 4
4. Щигры – Мценск, Еропкино / 5
5. Курск – Горбачево, Орел / 4
6. Еропкино – Тула, Горбачево / 5
7. Подольск - Орехово-Зуево, Панки / 4
8. Лазарево – Люблино, Серпухов / 5
9. Серпухов - Орехово-Зуево, УМЖД\* / 4
10. Ясногорск – Куровская, Столбовая / 5

Количество мультиплексоров ввода-вывода:

четный вариант – один МВВ на проектируемый участок.

нечетный вариант – два МВВ на проектируемый участок.

Выбор оптического кабеля и характеристик ОВ:

четный вариант – ОКЛ

нечетный вариант – ОКБ-М

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Гордиенко, В. Н. Многоканальные телекоммуникационные системы : учебник / В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Горячая линия-Телеком, 2017. — 396 с. — ISBN 978-5-9912-0251-0.	<a href="https://e.lanbook.com/book/111046">https://e.lanbook.com/book/111046</a>
2	Оптические телекоммуникационные системы : учебник / В. Н. Гордиенко, В. В. Крухмалев, А. Д. Моченов, Р. М. Шарафутдинов ; под редакцией В. Н. Гордиенко. — Москва : Горячая линия-Телеком, 2011. — 368 с. — ISBN 978-5-9912-0146-9.	<a href="https://e.lanbook.com/book/5147">https://e.lanbook.com/book/5147</a>
3	Перин, А. С. Оптические цифровые телекоммуникационные системы : учебно-методическое пособие / А. С. Перин, С. Н. Шарангович. — Москва : ТУСУР, 2018. — 114 с.	<a href="https://e.lanbook.com/book/313025">https://e.lanbook.com/book/313025</a>

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

Информационный портал Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru));

Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов (<http://window.edu.ru>);

Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.miit.ru>);

Поисковые системы «Яндекс» для доступа к тематическим информационным ресурсам;

Электронно-библиотечная система издательства «Лань» – <http://e.lanbook.com/>;

Электронно-библиотечная система [ibooks.ru](http://ibooks.ru) – <http://ibooks.ru/>;

Электронно-библиотечная система «УМЦ» – <http://www.umczt.ru/>;

Электронно-библиотечная система «Intermedia» – <http://www.intermediapublishing.ru/>;

Электронно-библиотечная система «BOOK.ru» – <http://www.book.ru/>;

Электронно-библиотечная система «ZNANIUM.COM» – <http://www.znanium.com/>

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Программное обеспечение для проведения занятий семинарского типа включает в себя программные продукты общего применения: операционная система Windows, пакет Microsoft Office, браузер с установленным Adobe Flash Player, Adobe Acrobat или его аналог.

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Для проведения аудиторных занятий и самостоятельной работы требуется:

1. Рабочее место преподавателя с персональным компьютером, подключённым к сети INTERNET.

2. Специализированная лекционная аудитория с мультимедиа аппаратурой и интерактивной доской.

3. Компьютерный класс. Рабочие места студентов в компьютерном классе, подключённые к сети INTERNET

4. Для проведения практических занятий: компьютерный класс; компьютеры с минимальными требованиями.

Технические требования к оборудованию для осуществления учебного процесса с использованием дистанционных образовательных технологий:

колонки, наушники или встроенный динамик (для участия в аудиоконференции);

микрофон или гарнитура (для участия в аудиоконференции);

веб-камеры (для участия в видеоконференции);

для ведущего: компьютер с процессором Intel Core 2 Duo от 2 ГГц (или аналог) и выше, от 2 Гб свободной оперативной памяти.

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет в 7 семестре.

Курсовой проект в 7 семестре.

## 10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

доцент, доцент, к.н. кафедры  
«Системы управления транспортной  
инфраструктурой»

И.А. Журавлев

Согласовано:

Руководитель образовательной  
программы

А.С. Киселёва

Председатель учебно-методической  
комиссии

Д.В. Паринов