

**Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»
Факультет математики, информационных и авиационных технологий**

Кафедра телекоммуникационных технологий и сетей

Смолева Виталий Петрович

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

для семинарских (практических) занятий
и самостоятельной работы
по дисциплине

**«Спектральное уплотнение в цифровых оптических
системах передачи данных»**

для магистрантов направления

11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

УЛЬЯНОВСК

2022

Методические рекомендации для семинарских (практических) занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Спектральное уплотнение в цифровых оптических системах передачи данных» / составитель: В.П. Смолеха - Ульяновск: УлГУ, 2022 – 12 с.

Методические рекомендации предназначены для магистрантов направления 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. В рекомендациях приведены литература по дисциплине, темы дисциплины и вопросы по каждой теме, рекомендации по изучению теоретического материала, контрольные вопросы для самоконтроля, задания для самостоятельной работы, задания для самостоятельной подготовки к семинарам или полностью самостоятельного освоения тем дисциплины и рекомендации по их выполнению.

Магистрантам следует использовать данные методические рекомендации при подготовке к семинарам, самостоятельной подготовке, а также промежуточной аттестации по дисциплине «Спектральное уплотнение в цифровых оптических системах передачи данных».

Рекомендованы к введению в образовательный процесс

Учёным советом факультета математики, информационных и авиационных технологий
УлГУ

протокол № 3/22 от «19» апреля 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие вопросы.....	4
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОТДЕЛЬНЫМ ТЕМАМ ДИСЦИПЛИНЫ.....	5
Тема 1. Принципы построения и структура ВОСП.....	5
Основные вопросы темы.....	5
Рекомендации по изучению темы.....	5
Вопросы для самоподготовки и задания.....	5
Тема 2. Методы уплотнения сигналов в оптическом волокне.....	6
Основные вопросы темы.....	6
Рекомендации по изучению темы.....	6
Вопросы для самоподготовки и задания.....	6
Тема 3. Спектральное уплотнение. Схема WDM.....	6
Основные вопросы темы.....	6
Рекомендации по изучению темы.....	7
Вопросы для самоподготовки и задания.....	7
Тема 4. Технологии WDM и DWDM. Частотный план. Эталонные цепи.....	7
Основные вопросы темы.....	7
Рекомендации по изучению темы.....	8
Вопросы для самоподготовки и задания.....	8
Тема 5. Активные и пассивные компоненты WDM.....	9
Основные вопросы темы.....	9
Рекомендации по изучению темы.....	9
Вопросы для самоподготовки и задания.....	9
Тема 6. Волоконно-оптические линейные тракты.....	9
Основные вопросы темы.....	9
Рекомендации по изучению темы.....	10
Вопросы для самоподготовки и задания.....	10
Список рекомендуемой литературы.....	11
Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы.....	11
Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	12

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

В результате изучения дисциплины «Спектральное уплотнение в цифровых оптических системах передачи данных» магистранты должны:

Знать:

- концепцию NGN, тенденции развития и технологии транспортных сетей и сетей доступа,
- схему спектрального уплотнения рекомендованную МСЭ-Т. Требования к узлам схемы. Основные узлы схемы: транспондеры, оптические мультиплексоры, усилители,
- источники информации для освоения принципов работы, технических характеристик и конструктивных особенностей разрабатываемого и используемого инфокоммуникационного оборудования и технологий WDM,

Уметь:

- использовать рекомендации МСЭ-Т и нормативно-правовые акты РФ для освоения современных и перспективных направлений развития ИКТСС,
- использовать современные методы и средства для расчета параметров телекоммуникационных систем,
- выполнять экспериментальные исследования для решения научно-исследовательских и производственных задач,
- определять принципы работы и технические характеристики, конструктивные особенности разрабатываемого и используемых инфокоммуникаций, сетевых и оптических технологий

Владеть:

- методами экспериментального исследования для решения задач с использованием современной аппаратуры телекоммуникаций
- навыками применения сведений о принципах работы и технических характеристиках, конструктивных особенностях разрабатываемого и используемого оптического оборудования и технологий WDM

Методические рекомендации для семинарских (практических) занятий, и самостоятельной работы по дисциплине «Спектральное уплотнение в цифровых оптических системах передачи данных» направлены на повышение эффективности освоения знаний, умений, навыков и компетенций.

В методических рекомендациях имеются указания по темам дисциплины «Спектральное уплотнение в цифровых оптических системах передачи данных». Каждая тема дисциплины содержит вопросы для систематизации теоретического материала,

полученного на лекционных занятиях, и самостоятельного изучения теории, вопросы (тесты) для текущего контроля на практических занятиях (семинарах).

Список литературы и информационного обеспечения, приведённый в конце методических указаний, может служить основой для изучения рассматриваемых тем. Дополнительная и учебно-методическая литература могут быть использованы обучающимися для закрепления изучаемого материала.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОТДЕЛЬНЫМ ТЕМАМ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Принципы построения и структура ВОСП

Основные вопросы темы:

1. Обобщенная структурная схема ВОСП.
2. Понятие оптического линейного тракта.
3. Функциональные модули аппаратуры ВОСП синхронной цифровой иерархии: мультиплексоры, регенераторы, коммутаторы и др.

Рекомендации по изучению темы:

Вопросы 1-3 изложены в учебнике [4] на с. 11-16.

Вопросы для самоподготовки и задания

1. Что следует понимать под оптической системой передачи
2. Какие компоненты различают в системах передачи
3. Какое назначение имеют мультиплексоры в системе передачи
4. Какие каналы образуются в системах передачи
5. Чем отличаются каналы КТЧ от ОЦК
6. Какое назначение имеют промежуточные станции в системах передачи
7. Что используется в качестве физической среды передачи
8. Почему стеклянные световоды нашли широкое применение в системах передачи и транспортных сетях
9. Что следует понимать под транспортной сетью
10. Какие сети электросвязи входят составной частью в транспортную сеть
11. Какие электронные компоненты аппаратуры оптических систем передачи можно считать основными для цифрового мультиплексирования
12. Какие оптические компоненты обеспечивают передачу и восстановление сигналов в волоконных световодах

Тема 2. Методы уплотнения сигналов в оптическом волокне.

Основные вопросы темы:

1. Многоканальные ВОСП. Технологии мультиплексирования
2. Временное уплотнение (Times Division Multiplexing, TDM).
3. Применение технологии TDM в CWDM системах передачи.

Рекомендации по изучению темы:

Вопросы 1-3 изложены в учебнике [1] на с. 9-17, [4] на с. 34-98.

Вопросы для самоподготовки и задания

1. Что такое технология TDM
2. В чем смысл применения технологии TDM в CWDM системах передачи
3. В чем заключаются особенности передачи TV сигнала в системах CWDM
4. В каких сетях спектральное уплотнение можно использовать для резервирования каналов связи
5. Какие технологии мультиплексирования разработаны для транспортных сетей
6. Что представляет собой синхронная цифровая иерархия SDH
7. Что входит в структуру цикла STM-N
8. Какую ёмкость в байтах имеют секционные заголовки SOH STM-N
9. Как можно вычислить скорость передачи STM-256
10. Сколько ступеней мультиплексирования SDH предусмотрено для контейнера C-12 в STM-1
11. С какой целью создаются и используются блоки TU-12, TUG-2/3. AU3/4
12. Какое назначение имеют секционные (RSOH и MSOH) и трактовые (POH) заголовки
13. Что используется для обнаружения ошибок передачи в трактах и секциях SDH
14. Запишите порядок формирования цифровых блоков от C-12 до STM-1
15. Какой временной интервал требуется для формирования C-12, C-3 и C-4
16. Сколько циклов STM-N требуется для переноса одного виртуального контейнера VC-12

Тема 3. Спектральное уплотнение. Схема WDM

Основные вопросы темы:

1. Принцип спектрального уплотнения.
2. Схема спектрального уплотнения рекомендованная МСЭ-Т.
3. Основные узлы схемы: транспондеры, оптические мультиплексоры, усилители.

Рекомендации по изучению темы:

Вопросы 1-3 изложены в учебнике [1] на с. 216-276.

Вопросы для самоподготовки и задания

1. В чем состоит сущность технологии CWDM
2. В чем состоят принципиальные отличия технологий CWDM и DWDM
3. Какие требования предъявляются к оптическим мультиплексорам (демультиплексорам)
4. Какие окна прозрачности предназначены для технологии CWDM
5. Сколько спектральных каналов можно организовать при использовании технологии CWDM
6. Какие диапазоны длин волн используются при использовании технологии CWDM
7. Какие факторы ограничивают длину участка ретрансляции
8. Что входит в состав оборудования CWDM
9. Что такое оптический усилитель
10. Почему возможно усиление света
11. Как классифицируются оптические усилители
12. Каким требованиям должны удовлетворять оптические усилители систем передачи
13. Какие виды полупроводниковых оптических усилителей могут быть использованы в ВОСП
14. Что такое трансивер (транспондер)
15. Как выглядит структурная схема трансивера
16. Чем отличается, длина волны на входе трансивера от длины волны на его выходе
17. Что такое одномодовый источник оптического излучения
18. Какие типы источников оптического излучения применяются в системах со спектральным уплотнением

Тема 4. Технологии WDM и DWDM. Частотный план. Эталонные цепи

Основные вопросы темы:

1. Классификация WDM. Технологии CWDM и DWDM.
2. Частотный план.
3. Эталонные цепи.

Рекомендации по изучению темы:

Вопросы 1-3 изложены в учебнике [1] с. 359-357

Вопросы для самоподготовки и задания

1. Чтобы обеспечить взаимную совместимость оборудования различных производителей, было предложено стандартизировать номинальный ряд оптических несущих, т.е. создать канальный или частотный план. Как была решена эта задача.
2. Какие стандарты установлены на структуры (эталонные цепи) соединений линий с WDM.
3. Какой оптический спектр используется для передачи коммуникационных сигналов
4. В чем заключается принцип спектрального уплотнения. Структурная схема. Достоинства, недостатки.
5. Какие требования предъявляются к технологии WDM
6. Какие системы WDM относятся к грубым WDM
7. Какие системы WDM относятся к плотным WDM
8. Какие системы WDM относятся к сверхплотным WDM
9. Сколько окон прозрачности рекомендованы МСЭ для освоения
10. Назовите диапазоны длин волн, используемых для технологии WDM
11. Что такое технология DWDM
12. Какие требования предъявляются к источнику оптического излучения
13. Какие требования предъявляются к оптическим мультиплексорам (демультиплексорам)
14. Какие окна прозрачности предназначены для технологии DWDM
15. Сколько спектральных каналов можно организовать в диапазонах C и L
16. В чем смысл эталонных цепей для технологии DWDM
17. Какие факторы ограничивают длину участка ретрансляции
18. Какое излучение является источником шумов в оптических усилителях

Тема 5. Активные и пассивные компоненты WDM

Основные вопросы темы:

1. Особенности применения активных и пассивных компонентов WDM.
2. Мультиплексоры и демультиплексоры.
3. Мультиплексоры ввода/вывода.
4. Оптические усилители. Трансиверы.
5. Транспондеры и мукспондеры.

Рекомендации по изучению темы:

Вопросы 1-4 изложены в учебнике [1] с. 86-96, с. 307-332, [4] на с. 145-163.

Вопросы для самоподготовки и задания

1. Какие функции поддерживает терминальные мультиплексоры
2. С какой целью в составе оборудования сетевых элементов SDH используются интерфейсы Ethernet и ATM
3. Какие возможности создает использование в составе аппаратуры SDH «цветных» интерфейсов
4. Что обеспечивает транспондер в составе сетевого элемента
5. Какие особенности имеют сетевые элементы «мультиплексоры вывода/ввода»?
6. Какие особенности построения и функций имеет сетевой элемент «кроссовый коммутатор»
7. Какие возможности имеют сетевые элементы типа OADM и ROADM
8. В чем заключается платформенный принцип построения сетевых элементов

Тема 6. Волоконно-оптические линейные тракты

Основные вопросы темы:

1. Особенности передачи сигналов электросвязи по оптическим линейным трактам, методы модуляции и демодуляции оптической несущей.
2. Структура цифровых волоконно-оптических линейных трактов.
3. Многоствольные линейные тракты с временным и спектральным разделением стволов.
4. Принципы регенерации цифровых оптических сигналов. Расчет длины участка регенерации ВОСП.

Рекомендации по изучению темы:

Вопросы 1-4 изложены в учебнике [1] на с. 232-253 [4] на с. 383-401.

Вопросы для самоподготовки и задания

1. Что понимается под сетевым элементом оптической транспортной сети
2. Что включает базовая конфигурация сетевого элемента транспортной сети в свой состав
3. Какое назначение имеет сетевой элемент «регенератор»
4. Какое назначение и функциональные возможности имеет сетевой элемент «оптический усилитель»
5. Какие существуют способы построения линейных трактов ВОСП. Достоинства, недостатки, область применения каждого способа
6. Какие способы уплотнения ВОЛС Вам известны. Достоинства, недостатки область применения каждого способа
7. Какое назначение имеют разъемные оптические соединители
8. Где применяются разъемные соединители
9. Какое назначение аттенюаторов ВОСП
10. Какие функции выполняют оптические разветвители
11. Как устроен и работает оптический вентиль
12. Что общего между оптическими фильтрами, мультиплексорами и демультимплексорами
13. Для чего применяются оптические циркуляторы
14. Что обеспечивают компенсаторы дисперсии
15. Почему дифракционная решетка может быть использована для компенсации дисперсии
16. Когда требуется преобразование длины волны излучения
17. Какие типы оптических волокон используются в системах передачи со спектральным уплотнением
18. Что такое хроматическая дисперсия
19. Как влияет хроматическая дисперсия на передачу информационных сигналов
20. Что такое *элементарный кабельный участок (ЭКУ)*
21. Что называется *кабельной секцией регенерации (КСР)*
22. В чем заключаются особенности нормирования ЭКУ и КСР ВОСП со спектральным уплотнением

23. Рекомендации по проведению приемо-сдаточных измерений ЭКУ и КСР

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы:

Список рекомендуемой литературы

основная

1. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET WDM. - М.: Радио и связь, 2003. - 468 с.: (40).
2. Величко В.В., Катунин Г.П., Шувалов В.П.. Основы инфокоммуникационных технологий. – М.: Горячая Линия – Телеком 2009. - 718 с.
3. Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи: Учебное пособие для вузов / Под ред. А.Д. Моченова.- М.: Горячая линия – Телеком, 2007.- 352с.
4. Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие. - М.: Эко-Трендз, 2008.

дополнительная

1. Битнер В.И., Сети нового поколения - NGN [Электронный ресурс] : Учебное пособие для вузов / Битнер В.И., Михайлова Ц.Ц. - М. : Горячая линия - Телеком, 2011. - 226 с. - ISBN 978-5-9912-0149-0 - Режим доступа:
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201490.html>

Учебно-методическая литература

1. Смолеха, Виталий Петрович. Телекоммуникационные системы и сети: учеб. пособие для вузов / Смолеха Виталий Петрович ; под ред. А. А. Смагина; УлГУ, Фак. математики и информ. технологий, Каф. телекоммуникац. технологий и сетей. - Ульяновск : УлГУ, 2009. - 103 с. : ил. - Библиогр.: с. 102. - б/п.
2. Курилова О. Л. Межсетевое взаимодействие сетей NGN: лабораторный практикум / О. Л. Курилова, В. Г. Козловский, В. П. Смолеха; УлГУ, ФМИАТ. - Ульяновск : УлГУ, 2019.
3. <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/2010>
4. Смолеха В. П. Межсетевое взаимодействие систем и сетей NGN : учебное пособие / В. П. Смолеха, В. Г. Козловский, О. Л. Курилова; под ред. А. А. Смагина; УлГУ, ФМИАТ, Каф. телекоммуникационных технологий и сетей. - Ульяновск : УлГУ, 2018.
<http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/1604>

1. Электронно-библиотечные системы:

- 1.1. IPRbooks [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система / группа компаний Ай Пи Эр Медиа . - Электрон. дан. - Саратов , [2019]. - Режим доступа:
<http://www.iprbookshop.ru>.
- 1.2. ЮРАЙТ [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система / ООО Электронное издательство ЮРАЙТ. - Электрон. дан. – Москва , [2019]. - Режим доступа:
<https://www.biblio-online.ru>.
- 1.3. Консультант студента [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система / ООО Политехресурс. - Электрон. дан. – Москва, [2019]. - Режим доступа:
<http://www.studentlibrary.ru/pages/catalogue.html>.

- 1.4. Лань [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система / ООО ЭБС Лань. - Электрон. дан. – С.-Петербург, [2019]. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com>.
- 1.5. Znaniyum.com [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система / ООО Знаниум. - Электрон. дан. – Москва, [2019]. - Режим доступа: <http://znaniyum.com>.
2. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: справочная правовая система. /Компания «Консультант Плюс» - Электрон. дан. - Москва : КонсультантПлюс, [2019].
3. База данных периодических изданий [Электронный ресурс] : электронные журналы / ООО ИВИС. - Электрон. дан. - Москва, [2019]. - Режим доступа: <https://dlib.eastview.com/browse/udb/12>.
4. Национальная электронная библиотека [Электронный ресурс]: электронная библиотека. - Электрон. дан. – Москва, [2019]. - Режим доступа: <https://нэб.рф>.
5. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс]: электронная библиотека / ФГБУ РГБ. - Электрон. дан. – Москва, [2019]. - Режим доступа: <https://dvs.rsl.ru>.
6. Федеральные информационно-образовательные порталы:
- 6.1. Информационная система [Единое окно доступа к образовательным ресурсам](http://window.edu.ru). Режим доступа: <http://window.edu.ru>
- 6.2. Федеральный портал [Российское образование](http://www.edu.ru). Режим доступа: <http://www.edu.ru>
7. Образовательные ресурсы УлГУ:
- 7.1. Электронная библиотека УлГУ. Режим доступа : <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>
- 7.2. Образовательный портал УлГУ. Режим доступа : <http://edu.ulsu.ru>

МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ:

Аудитории 3/213 проведение лекций, 3/217, 24А практикумов и для проведения текущего контроля, промежуточной аттестации, групповых и индивидуальных консультаций.

Аудитории укомплектованы специализированной мебелью, учебной доской. Аудитории для проведения лекций оборудованы мультимедийным оборудованием для предоставления информации большой аудитории. Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде, электронно-библиотечной системе. Перечень оборудования, используемого в учебном процессе, Лабораторные стенды, Аппаратно-программный комплекс «СОТСБИ-NGN».