

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

А. Е. Мандель

Метрология в оптических телекоммуникационных системах:
методические указания по проведению практических занятий и организации
самостоятельной работы студентов

Методические указания по проведению практических занятий и организации
самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению подготовки
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Томск
2023

УДК 681.7.068.(075.8)
ББК 32.889я73
М 23.2

Рецензент:

Шарангович С. Н., профессор кафедры сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники,
канд. физ.-мат. наук

Мандель Аркадий Евсеевич

Метрология в оптических телекоммуникационных системах: методические указания по проведению практических занятий и организации самостоятельной работы студентов / А. Е. Мандель – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. –с.

Приводится программа курса, его цели и задачи. Приведено содержание лекционного курса. Представлены темы практических занятий и методические указания по их проведению, а также перечень индивидуальных заданий. Приведены темы лабораторных занятий. Представлены вопросы тестовой контрольной работы. Приводится список вопросов для зачета. Рассмотрены виды самостоятельной работы студентов при изучении разделов дисциплины.

Методические указания предназначены для студентов очной, заочной и дистанционной форм обучения, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Одобрено на заседании каф. сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники,
протокол № 5 от 28.12.2022

УДК 681.7.068.(075.8)
ББК 32.889я73
М 23.2

© Мандель А.Е, 2023
© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2023

Содержание

Введение	4
1. Цели и задачи дисциплины	5
1.1 Цели и задачи дисциплины	5
1.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины	5
1.3 Объем дисциплины и виды учебной работы	6
2 Содержание лекционного курса	6
2.1 Разделы дисциплины	6
2.2 Содержание разделов дисциплины	7
3 Лабораторные занятия	8
4 Практические занятия	8
5. Тестовая контрольная работа	9
6 Текущий контроль освоения дисциплины	13
7 Перечень вопросов для зачета	13
8 Учебно-методическое обеспечение дисциплины	14

Введение

Практическое занятие в университете является формой учебной работы, которая проходит под руководством преподавателя и предполагает активное участие и взаимодействие студентов. Практические занятия необходимы, чтобы углублять теоретические знания учащихся, переводить их в практические умения и навыки. Такая форма учебной деятельности позволяет преподавателю увидеть реальный уровень знаний учащихся и скорректировать элементы учебной программы, если это необходимо.

Самостоятельная работа студентов также является важной частью учебного процесса. В ходе самостоятельной работы формируются профессиональные навыки будущего специалиста, такие как: внутренняя готовность к самообразованию в профессиональной сфере, самостоятельность, инициативность и ответственность, умение работать с источниками информации. Каждая дисциплина должна иметь методическое сопровождение по самостоятельному изучению разделов и тем, указанных в рабочей программе, по написанию рефератов, выполнению контрольных и лабораторных работ. В связи с этим эффективная организация самостоятельной работы студентов требует проведения целого ряда мероприятий, создающих предпосылки и условия для реализации самостоятельной работы, а именно:

- обеспечение студентов информационными ресурсами (учебными пособиями, справочниками, банками индивидуальных заданий);
- обеспечение студентов методическими материалами (учебно-методическими практикумами, сборниками задач, указаниями по выполнению лабораторных работ);
- наличие материальных ресурсов (ПК, измерительного и технологического оборудования для выполнения заданий в рамках НИР и ГПО);
- организация консультаций преподавателей;
- возможность публичного обсуждения теоретических и практических результатов, полученных студентом самостоятельно при выполнении НИРС (конференции, олимпиады, конкурсы).

Важным элементом в организации самостоятельной работы студентов является контроль. Контроль требует разработки преподавателем контролирующих материалов в текстовом или тестовом исполнении, а при использовании ПК - пакета прикладных программ для проверки знаний студентов. Эффективная система контроля (в т.ч. электронная система контроля), наряду с рейтинговой системой оценки знаний, позволит добиться систематической самостоятельной работы студентов над учебными материалами и повысить качество обучения.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

1. Цели и задачи дисциплины

1.1 Целью преподавания дисциплины является изучение студентами системы метрологического обеспечения волоконно-оптических систем передачи, их отдельных волоконно-оптических и оптоэлектронных элементов.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- Изучение общих принципов организации метрологического обеспечения оптических телекоммуникационных систем;
- изучение методов и технических средств, обеспечивающих измерение основных параметров и характеристик оптических телекоммуникационных систем и их отдельных элементов.

1.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины

По итогам освоения курса и выполнения самостоятельной работы студенты должны:

знать

- методы и способы проведения всех видов инструментальных измерений электронных и оптических параметров оборудования и сквозных каналов, используемых в области инфокоммуникационных технологий и системах связи;
- методы и способы экспериментальной проверки технического состояния и ресурса оптического оборудования с целью оценки соответствия требованиям технических регламентов, международных и национальных стандартов и иных нормативных документов;
- основы сетевых технологий, нормативно-техническую документацию, требования технических регламентов, международные и национальные стандарты в области показателей работы инфокоммуникационного оборудования.

уметь

- проводить инструментальные измерения, используемые в области оптических инфокоммуникационных технологий и систем связи;
- организовывать и проводить экспериментальные испытания с целью оценки соответствия требованиям технических регламентов;
- анализировать статистику основных показателей эффективности систем передачи данных, выполнять расчет пропускной способности сетей телекоммуникаций;
- работать с программным обеспечением, используемым при обработке информации инфокоммуникационных систем и их составляющих.

владеть

- основными методами, способами и приемами инструментальных измерений, используемых в области инфокоммуникационных технологий и систем связи;
- навыками экспериментальных испытаний с целью проверки технического состояния и ресурса оптического оборудования и соответствия требованиям технических регламентов;
- навыками информационной поддержки расчетов радиопокрытия, радиорелейных и спутниковых трасс;
- навыками анализа оперативной информации о запланированных и аварийных работах, связанных с прерыванием предоставления услуг, контроля качества предоставляемых услуг.

1.3 Объем дисциплины и виды учебной работы

Очное обучение

Виды учебной деятельности	7 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	28	28	часов
Практические занятия	18	18	часов
Лабораторные занятия	12	12	часов
Самостоятельная работа	86	86	часов
Общая трудоемкость (вкл. промежуточную аттестацию)	144 4	144 4	Часов з.е.
Формы промежуточной аттестации			Семестр
зачет			7

Заочное обучение

Виды учебной деятельности	8 семестр	9 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	2	6	8	часов
Практические занятия		4	4	часов
Лабораторные занятия		8	8	часов
Самостоятельная работа	34	82	116	часов
Контрольные работы		4	4	часов
Подготовка и сдача зачета		4	4	часов
Общая трудоемкость (вкл. промежуточную аттестацию)	36 1	108 3	144 4	часов з.е.
Формы промежуточной аттестации			Семестр	Кол-во
зачет			9	
Контрольные работы			9	2

2 Разделы дисциплины и содержание лекционного курса

2.1 Разделы дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Введение. Принципы и физические основы оптических телекоммуникационных систем.
2	Цели и задачи измерений в оптических телекоммуникационных системах. Диагностические процедуры.
3	Измеряемые параметры оптических волокон, источников и приемников оптического излучения. Приборы для измерения характеристик элементов линии передачи и технология их измерения .
4	Рефлектометры. Рефлектометрические измерения параметров оптических волокон.
5	Измеряемые параметры излучения, проходящего через линейный тракт. Приборы для измерения параметров излучения, проходящего через линейный тракт
6	Автоматизированные системы мониторинга оптических телекоммуникационных сетей

2.2 Содержание разделов дисциплины

2.2.1 Оптические телекоммуникационные системы и прогресс. Особенности и роль метрологического обеспечения в оптических телекоммуникациях. Устройство оптического волокна и кабеля. Основные параметры оптических волокон и кабелей. Пассивные и активные элементы оптических телекоммуникационных системы и их параметры.

2.2.2 Основные понятия и определения системы метрологического обеспечения в оптических телекоммуникациях. Статистическая оценка характеристик погрешности измерений. Понятия контроля, тестирования, анализа протоколов. Измерительные задачи, решаемые в процессе производства, строительства и эксплуатации оптических телекоммуникационных систем. Виды измерений систем передачи: настроечные, приемосдаточные, эксплуатационные плановые и эксплуатационные внеплановые.

2.2.3 Измеряемые параметры оптических волокон, источников и приемников оптического излучения.

Методы измерения абсолютной оптической мощности. Измерение малоинтенсивного оптического излучения на основе фотодиодов. Методы измерения затухания оптических волокон. Основные технические и метрологические характеристики оптических ваттметров и тестеров.

Особенности измерений параметров одномодовых оптических волокон. Методы измерения длины волны отсечки одномодовых волокон.

Виды дисперсии оптических волокон. Методы измерения дисперсии многомодовых и одномодовых волокон. Основные технические и метрологические характеристики средств измерений дисперсии.

Анализ оптического спектра. Анализаторы оптического спектра на основе дифракционной решетки. Конструкции анализаторов оптического спектра, их технические и метрологические характеристики. Измерение спектральных характеристик с высоким разрешением в высокоскоростных цифровых линиях связи: гетеродинный метод измерения спектральных характеристик, автогетеродинный метод измерения спектральных характеристик.

Общие принципы поверки средств измерений оптического диапазона. Рабочие эталоны, используемые при поверке средств измерений оптического диапазона.

2.2.4 Принцип работы рефлектометров. Рефлектометры с непрерывным излучением: корреляционный и частотный. Импульсный оптический рефлектометр. Основные принципы построения и устройство импульсного оптического рефлектометра. Технические и метрологические характеристики оптических рефлектометров. Основные сведения о существующих моделях рефлектометров. Мини-рефлектометры. Методика измерений параметров волоконно-оптических линий связи импульсным оптическим рефлектометром.

2.2.5 Особенности измерения коэффициентов ошибок в цифровых волоконно-оптических системах передачи. Нормы на параметры ошибок цифровых систем передачи и критерии оценки качества передачи. Средства измерения коэффициентов ошибок. Измерения энергетического бюджета линии связи с использованием измерителя коэффициента ошибок. Измерение дрейфа и дрожания фазы в цифровых волоконно-оптических системах.

2.2.6 Системы удаленного контроля оптических линий связи. Организация измерений с закрытием и без закрытия линий связи. Основные направления автоматизации контроля волоконно-оптических линий связи. Структура и принципы функционирования автоматизированных систем мониторинга оптических телекоммуникационных сетей. Примеры существующих систем. Технология измерений.

3 Лабораторные занятия

Основными целями выполнения лабораторных работ являются:

–изучение устройства и принципа действия средств измерений оптического диапазона;

–приобретение студентами практических навыков в проведении измерений в оптическом диапазоне;

– углубленное освоение студентами теоретических положений изучаемой дисциплины «Метрология в оптических телекоммуникационных системах».

Лабораторные работы выполняются на лабораторных стендах. Каждый стенд состоит из лабораторной установки и дополнительного оборудования. Дополнительное оборудование включает модуль скремблер (смеситель мод), измеритель оптической мощности «Топаз 7210А», оптический тестер – рефлектометр «Топаз-7000-AR», оптический тестер «Топаз7315-AL». В лабораторном практикуме [] приведено описание лабораторных работ и методика их выполнения. В описании каждой лабораторной работы содержатся краткие теоретические сведения, описание экспериментальной установки, описание методики проведения лабораторной работы, лабораторное задание, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы. Продолжительность каждой лабораторной работы 4 часа.

При выполнении лабораторных работ студент должен продемонстрировать знание соответствующего теоретического материала и знакомство с учебно-методической литературой по заданной теме.

Список лабораторных работ

1. Измерение характеристик лазерного излучателя ИК – диапазона.
2. Измерение характеристик фотоприемного модуля ИК - диапазона
3. Тестирование оптических волокон рефлектометром «Топаз-7000-ar»
4. Измерение затухания оптических волокон оптическим тестером «Топаз-7315-al»

Методические указания к лабораторным работам представлены в лабораторном практикуме [3]

4 Практические занятия

Практические занятия позволяют закрепить в памяти студентов основные измеряемые параметры волоконно-оптических световодов, передающих и приемных модулей, основные методы измерений параметров аппаратуры волоконно-оптических систем передачи и параметров трактов цифровых телекоммуникационных систем, основные технические и метрологические характеристики средств измерений в оптическом диапазоне.

Темы практических занятий

1. Основные контрольно- измерительные операции в волоконно-оптических системах передачи.
2. Методы измерений и средства измерения абсолютной оптической мощности в волоконной оптике.
3. Методы измерений и средства измерения затухания оптической мощности в линиях передачи.
4. Методы измерений и средства измерения спектральных характеристик в волоконно-оптических системах передачи.

5. Методы измерений и средства измерения дисперсии оптических волокон и компонентов волоконно-оптических систем передачи.
6. Методы и средства рефлектометрии оптических волокон.
7. Методы измерений и средства измерения коэффициента ошибок в цифровых волоконно-оптических системах передачи.
8. Системы удаленного контроля волоконно-оптических сетей связи.
9. Тестовая контрольная работа.

На практических занятиях студентами докладываются результаты выполнения индивидуальных заданий (рефератов), проводится их обсуждение.

Темы индивидуальных заданий (рефератов)

1. Оптические ваттметры. Устройство, основные технические и метрологические характеристики.
2. Оптические тестеры. Устройство, основные технические и метрологические характеристики. Основные области применения.
3. Методы измерения диаметра модового поля оптических волокон.
4. Методы измерения длины волны отсечки одномодовых волокон.
5. Методы и схемы измерения дисперсии многомодовых и одномодовых оптических волокон.
6. Дифракционная решетка как перестраиваемый фильтр анализатора оптического спектра.
7. Конструкции анализаторов оптического спектра на основе дифракционных решеток
8. Измерение спектральных характеристик в волоконной оптике с высоким разрешением
9. Методы рефлектометрии оптических волокон. Принципы построения и технические характеристики импульсных оптических рефлектометров. Основные области применения.
10. Измерители коэффициентов ошибок. Особенности измерителей коэффициентов ошибок в системах оптического диапазона.
11. Измерения дрейфа и дрожания фазы. Нормы джиттера. Метрология измерений джиттера
12. Системы удаленного контроля волоконно-оптических сетей связи.

В качестве индивидуального творческого задания засчитывается выступление студентов с докладами на научных и научно-практических конференциях, семинарах, симпозиумах.

5 Тестовая контрольная работа

Целью контрольной работы является проверка знаний студентами основных положений изучаемого курса. При подготовке к контрольной работе удобнее всего пользоваться конспектами лекций и рекомендованными преподавателем учебниками, так как вопросы контрольных составляются на основе программы курса обучения.

Контрольная работа составлена в виде тестовых заданий и охватывает все разделы дисциплины.

1. Каковы границы оптического диапазона волн, используемого для передачи световых сигналов по оптическим кабелям?
 - а) 870 - 1765 нм
 - б) 780 - 1575 нм
 - в) 780 - 1675 нм
 - г) 650 -1575 нм

2. Каким параметром оценивается качество передачи цифрового сигнала по линиям связи?

- а) Длительность сигнала T_c
- б) Коэффициент битовых ошибок
- в) Отношение сигнал/шум
- г) амплитуда сигнала

3. Какие источники излучения используются в волоконной оптике?

- а) светодиоды, твердотельные лазеры
- б) светодиоды, полупроводниковые лазеры
- в) полупроводниковые лазеры, газовые лазеры
- г) газовые лазеры, светодиоды

4. Какие приемники оптического излучения используются в волоконной оптике

- а) фоторезистор, фотодиод с р-п-переходом
- б) р-і-п фотодиод, лавинный фотодиод (ЛФД)
- в) фототранзистор, р-і-п фотодиод
- г) фоторезистор, р-і-п фотодиод

5. Каким прибором измеряется коэффициент ошибок в ВОЛС

- а) анализатор коэффициента ошибок
- б) тестер коэффициента ошибок
- в) импульсный оптический рефлектометр
- г) анализатор оптического спектра

6. Какими приборами измеряется затухание в ВОЛС

- а) оптический тестер, рефлектометр
- б) измеритель абсолютной оптической мощности, рефлектометр
- в) оптический тестер, анализатор спектра излучения
- г) рефлектометр, анализатор спектра излучения

7. Как влияет затухание в оптическом волокне на длину участка регенерации?

- а) уменьшает длину участка регенерации
- б) увеличивает длину участка регенерации
- в) не влияет
- г) увеличивает оптическую длину участка регенерации

8. Как влияет дисперсия в оптическом волокне на длину участка регенерации?

- а) уменьшает длину участка регенерации
- б) увеличивает длину участка регенерации
- в) не влияет
- г) увеличивает оптическую длину участка регенерации

9. В чем заключается анализ оптического спектра?

- а) измерение оптической мощности в зависимости от длины волны света
- б) измерение затухания оптического сигнала в зависимости от длины волны света
- в) измерение дисперсии оптического сигнала в зависимости от длины волны света
- г) измерение модовой структуры оптического сигнала

10. Как называется способность импульсного оптического рефлектометра различать две близко расположенные неоднородности?

- а) пространственная разрешающая способность
- б) динамический диапазон
- в) диапазон измерения
- г) мертвая зона

11. Какой элемент выполняет функции перестраиваемого оптического фильтра в анализаторах оптического спектра ВОЛС?

- а) дифракционная решетка
- б) призма
- в) интерферометр Маха-Цендера
- г) интерферометр Жамена

12. Системы автоматизированного контроля и управления с соответствующим программным обеспечением должны обеспечить

- а) непрерывный автоматический контроль состояния ОВ
- б) отображение состояния ОВ на графе трасс и таблицах статистики,
- в) интеграцию с электронной картой
- г) все из вышеперечисленных

13. Какими методами измеряется хроматическая дисперсия оптического волокна?

- а) методом обламывания оптического волокна, методом поперечного смещения волокон
- б) методом вносимых потерь, методом дифференциального сдвига фаз
- в) методом сдвига фаз, методом дифференциального сдвига фаз
- г) методом вносимых потерь, методом поперечного смещения волокон

14. Какими методами измеряется межмодовая дисперсия многомодового оптического волокна?

- а) по искажению формы светового импульса
- б) методом поперечного смещения волокон
- в) методом вносимых потерь
- г) методом сдвига фаз

15. Какими методами измеряется длина волны отсечки одномодовых волокон?

- а) методом передаваемой мощности, методом вносимых потерь
- б) методом передаваемой мощности, методом контроля диаметра модового пятна
- в) методом контроля диаметра модового пятна, методом обламывания оптического волокна
- г) методом передаваемой мощности, методом обламывания оптического волокна

16. На каких физических явлениях основана работа импульсного оптического рефлектометра при измерениях характеристик оптического волокна

- а) на рэлеевском рассеянии и френелевском отражении
- б) на рэлеевском рассеянии и мертвой зоне
- в) на френелевском отражении и мертвой зоне
- г) на френелевском отражении

17. По каким основным характеристикам импульсного оптического рефлектометра эти приборы сравниваются друг с другом

- а) пространственная разрешающая способность, мертвая зона, чувствительность приемного устройства
- б) динамический диапазон, диапазон измерения, пространственная разрешающая способность, мертвая зона
- в) динамический диапазон, мертвая зона, частотная характеристика приемного устройства
- г) динамический диапазон, мертвая зона, пространственная разрешающая способность

18. Когда производятся настроечные (инсталляционные) измерения в ВОЛС

- а) в процессе эксплуатации ВОЛС на соответствие эксплуатационным нормам
- б) в процессе эксплуатации ВОЛС на соответствие настроечным нормам
- в) при первоначальной настройке каналов и трактов ВОЛС на соответствие настроечным нормам
- г) при первоначальной настройке каналов и трактов ВОЛС на соответствие эксплуатационным нормам

19. Когда производятся профилактические измерения в ВОЛС

- а) в процессе эксплуатации ВОЛС на соответствие эксплуатационным нормам
- б) в процессе эксплуатации ВОЛС на соответствие настроечным нормам
- в) при первоначальной настройке каналов и трактов ВОЛС на соответствие настроечным нормам
- г) при первоначальной настройке каналов и трактов ВОЛС на соответствие эксплуатационным нормам

20. Какие параметры измерителей абсолютной оптической мощности являются основными.

- а) диапазон рабочих длин волн, абсолютная погрешность измерения уровня мощности
- б) диапазон рабочих длин волн, динамический диапазон измерений средней мощности, относительная погрешность измерения уровня мощности
- в) динамический диапазон измерений средней мощности, относительная погрешность измерения уровня мощности
- г) динамический диапазон измерений средней мощности, диапазон рабочих длин волн

6 Перечень вопросов для зачета

Подготовка к зачету способствует систематизации, обобщению и закреплению знаний студентов, устранению пробелов, возникающих в процессе учебных занятий.

1. Виды измерений систем передачи: настроечные, приемо-сдаточные, эксплуатационные плановые и эксплуатационные внеплановые.
2. Основные принципы построения системы контроля оптических сетей связи.
3. Системы удаленного контроля волоконно-оптических сетей связи.
4. Основные измеряемые параметры оптических многомодовых и одномодовых волокон
5. Основные измеряемые параметры оптических излучателей
6. Основные измеряемые параметры фотоприемных устройств
7. Основные измеряемые параметры каналов и трактов оптических телекоммуникационных систем.
8. Основные измеряемые параметры оптических усилителей.
9. Методы и средства измерения абсолютной оптической мощности.
10. Методы и средства измерения затухания оптических волокон.
11. Методы измерения числовой апертуры и диаметра модового пятна.
12. Методы и средства измерения межмодовой дисперсии.
13. Методы и средства измерения хроматической дисперсии.
14. Методы и средства измерения длины волны отсечки одномодовых волокон.
15. Принципы построения и основные технические и метрологические характеристики оптических ваттметров и оптических тестеров.
16. Особенности измерителей коэффициентов ошибок в системах оптического диапазона
17. Дифракционная решетка как оптический фильтр. Конструкции анализаторов оптического спектра на основе дифракционных решеток.
18. Методы измерения спектральных характеристик с высоким разрешением.
19. Теоретические основы работы импульсного оптического рефлектометра.
20. Технические и метрологические характеристики оптических рефлектометров.
21. Основные принципы построения системы контроля оптических сетей связи.
22. Системы удаленного контроля волоконно-оптических сетей связи.

7 Текущий контроль освоения дисциплины

Текущий контроль освоения дисциплины основан на бально-рейтинговой системы оценки успеваемости Студентов. Он включает **текущий** контроль выполнения элементов объема дисциплины по элементам контроля с подведением текущего рейтинга и **итоговый** контроль. Итоговый контроль освоения дисциплины осуществляется на зачете.

Обязательным условием перед сдачей зачета является выполнение студентом необходимых в соответствии с рабочей программой дисциплины видов занятий: выполнение и защита результатов лабораторных работ, выполнение индивидуальных заданий, сдача контрольной работы. Таблица распределения баллов в течение семестра приведена ниже.

Таблица распределения баллов в течение семестра

Формы контроля	Максимальный балл на 1-ую контрольную точку с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Зачет	0	0	30	30
Выполнение и защита результатов лабораторных работ	0	8	16	24
Тестирование	12	12	12	36
Выполнение индивидуальных заданий			10	10
Итого максимум за период	12	20	68	100
Нарастающим итогом	12	32	100	100

8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

1. Мандель А. Е. Методы и средства измерения в оптических телекоммуникационных системах: Учебное пособие / Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2020.-130 с. URL: <https://edu.tusur.ru/publications/9429> (дата обращения: 30.01.2023)
2. Мандель А. Е. Метрология в оптических телекоммуникационных системах: Учебное пособие / Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2014. -139 с. URL: <https://edu.tusur.ru/publications/3733> (дата обращения: 30.01.2023)
3. Мандель А.Е., Перин А.С. Метрология в оптических телекоммуникационных системах: лабораторный практикум: учеб. метод. пособие /. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2021. – 31 с. URL: <https://edu.tusur.ru/publications/9424> (дата обращения: 30.01.2023)
4. Портнов Э. Л. Оптические кабели связи: Конструкции и характеристики : Учебное пособие для вузов / М. : Горячая линия-Телеком, 2002. - 232 с. : ил. - (Сети и сетевые технологии). - Библиогр.: с. 228-230. - ISBN 5-93517-083-3 (70 экз.).

5. Бакланов И. Г. Тестирование и диагностика систем связи. М.: Эко-Трендз, 2006. - 268 с. (4 экз.).
6. Современные проблемы волоконно-оптических линий связи: Справочник. Т. 4: Активные элементы и средства контроля ВОЛС. Под ред. В. Ф. Мышкина, В. А. Хана, А. В. Шмалько. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2005г. -371 с. (2 экз.)