

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕ-
КОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

(СПбГУТ)

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор-проректор
по учебной работе



А.В. Абилов

2023 г.

Регистрационный № 17-2023



**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА
ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ**

**«Принципы построения, компоненты, проектирование
и эксплуатация волоконно-оптических систем и сетей
с технологией DWDM»**

Санкт-Петербург
2023 г.

1. Общая характеристика программы

- 1.1. Тип дополнительной профессиональной программы: программа повышения квалификации (далее – программа).
- 1.2. Программа направлена на совершенствование и (или) получение новой компетенции, необходимой для профессиональной деятельности, и (или) повышение профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации.
- 1.3. К освоению программы допускаются: лица, получающие высшее образование.
- 1.4. Обучение по программе осуществляется на основе договора об образовании, заключаемого со слушателем.
- 1.5. Срок освоения программы: 144 часа.
- 1.6. Форма обучения: очная.
- 1.7. Категория обучающихся: лица, получающие или имеющие высшее техническое образование.
- 1.8. Формы аттестации: итоговая аттестация – после освоения всей программы.
- 1.9. Выдаваемый документ: удостоверение о повышении квалификации выдается одновременно с получением соответствующего документа об образовании.
- 1.10. Удостоверение о повышении квалификации по результатам обучения по программам дополнительного профессионального образования даст право заниматься определенной профессиональной деятельностью. И (или) выполнять конкретные трудовые функции, для которых определены обязательные требования к наличию квалификации.

2. Цель реализации программы

Целью реализации программы является качественное изменение профессиональных компетенций, необходимых для выполнения следующих видов профессиональной деятельности в рамках имеющейся квалификации:

- анализ, применение и развитие современных оптических технологий формирования сигналов, их передачи, приема и обработки в высокоскоростных когерентных системах связи, использующих технологию DWDM;
- проектирование, настройка и эксплуатация волоконно-оптических систем связи с технологией DWDM на платформе ВОЛГА.

3. Требования к результатам обучения

В результате освоения программы слушатель должен приобрести следующие знания и умения, необходимые для качественного изменения компетенций, указанных в п. 1:

слушатель должен знать:

– современные инфокоммуникационные технологии, принципы действия, структурные схемы и конструкции линейных волоконно-оптических

трактов и волоконно-оптических систем связи (ВОСС) с использованием DWDM;

- технологию транспортных сетей OTN, ее преимущества, структуру контейнера OTN, стандартизованные уровни иерархии;

- принципы действия, конструкции и параметры элементов для генерации, модуляции и кодирования оптического излучения, а также для энергетического и когерентного приема и обработки оптических сигналов;

- принципы действия, конструкции и параметры устройств ВОСС, включая мультиплексоры во временной и волновой областях, различные виды модуляторов, оптические усилители, транспондеры, кросс-коммутаторы, реконфигурируемые мультиплексоры ввода-вывода (ROADM);

- требования к проектам транспортных ВОСС, этапы и последовательность проектирования;

- схемы, конструкции и параметры оборудования ВОСС с использованием DWDM (платформа ВОЛГА) отечественного производителя ООО «Т8».

слушатель должен уметь:

- обосновывать выбор и проводить сравнительный анализ инфокоммуникационных технологий и оборудования для ВОСС с использованием DWDM;

- формулировать технические задания, разрабатывать документацию для проектов строительства и реконструкции ВОСС с использованием оборудования отечественных производителей;

- обосновывать технические решения по выбору передающего и приемного оборудования, мультиплексоров, модуляторов, кросс-коммутаторов, оптических усилителей, транспондеров, а также оценивать качество связи для энергетического и когерентного приема при различных алгоритмах обработки оптических сигналов;

- осуществлять контроль и измерение параметров оптических волокон, компонентов и устройств ВОСС с использованием DWDM;

- использовать специализированное программное обеспечение для настройки и управления ВОСС на платформе ВОЛГА;

- осуществлять первичную настройку параметров всех устройств платформы ВОЛГА;

- управлять конфигурацией сети на базе оборудования ВОЛГА;

- осуществлять эксплуатационное обслуживание оборудования ВОЛГА.

4. Содержание программы¹

Категория слушателей – высшее техническое образование в области инфокоммуникаций.

¹ Наличие учебной программы носит рекомендательный характер, определяется объемом программы, требованиями заказчика и т.д.

Учебный план
программы повышения квалификации
«Принципы построения, компоненты, проектирование
и эксплуатация волоконно-оптических систем и сетей
с технологией DWDM»

№ п/п	Наименование разделов и тем	Всего, час.	В том числе	
			лекции	Семинары, практич. и лаборат. занятия
1	Общие сведения о волоконно-оптических системах и сетях с технологией DWDM	8	6	2
2	Технология и оборудование оптических транспортных сетей (OTN). Платформа ВОЛГА	10	6	4
3	Одномодовые оптические волокна для ВОСС с DWDM	10	6	4
4	Модуляция и мультиплексирование в ВОСС с DWDM	10	6	4
5	Источники, приемники, трансиверы для ВОСС	14	6	8
6	Когерентный прием цифровых оптических сигналов	8	4	4
7	Оптическое усиление и оптические усилители	8	4	4
8	Пассивные оптические компоненты для ВОСС	10	6	4
9	Специализированное программное обеспечение для настройки и управления платформой ВОЛГА. Реализация типовых схем ВОСС на базе оборудования ВОЛГА	14	4	10
10	Каналообразующее оборудование современных DWDM систем. Резервирование. ROADM и Flex ROADM	10	6	4
11	Основы проектирования ВОСС	10	6	4
12	Монтаж волоконно-оптических линейных трактов	8	4	4
13	Измерения на волоконно-оптических линейных трактах	8	4	4
14	Эксплуатация оборудования ВОЛГА. Система управления Титан.	8	4	4

№ п/п	Наименование разделов и тем	Всего, час.	В том числе	
			лекции	Семинары, практич. и лаборат. занятия
15	Зачет по курсу	8	4	4
	ВСЕГО:	144	76	68

Учебная программа

«Принципы построения, компоненты, проектирование и эксплуатация волоконно-оптических систем и сетей с технологией DWDM»

Тема 1. Общие сведения о волоконно-оптических сетях с технологией DWDM (8 часов)

Краткая история развития ВОСС. Технология мультиплексирования в волновой области (WDM) и ее разновидности: WWDM, CWDM, DWDM. Частотные планы, сетки Fixed Grid и Flexible Grid. Технология OTN. Принципы построения, основные параметры и структурные схемы современных ВОСС с DWDM. Общие сведения о назначении, конструкции и параметрах функциональных узлов (элементов) ВОСС. Простейшее линейное кодирование с возвратом и без возврата к нулю. Помехоустойчивое кодирование. Линейные коды FEC. Спектральная эффективность ВОСС. Способы повышения спектральной эффективности.

Тема 2. Технология и оборудование оптических транспортных сетей (OTN). Платформа ВОЛГА (10 часов)

Информационные технологии для отдельных каналов ВОСС с технологией DWDM: OTN, SDH и Ethernet. Преимущества технологии OTN. Протоколы и форматы данных в сетях OTN. Стандартизованные уровни иерархии в сетях OTN.

Состав линейки оборудования ВОЛГА: транспондеры, мукспондеры, агрегаторы, спектральные мультиплексоры, мультиплексоры ввода/вывода, ROADM, усилители оптических сигналов. Назначение, эксплуатационные параметры и режимы работы оборудования.

Тема 3. Одномодовые оптические волокна для ВОСС с DWDM (10 часов)

Классификация, конструкции, линейные и нелинейные параметры различных типов одномодовых ОВ. Затухание, хроматическая (ХД) и поляризационно-модовая (ПМД) дисперсии. Нормированная частота, длины волн нулевой дисперсии и отсечки. Наведенный чирпинг, обусловленный ХД. Оптическая компенсация ХД и ПМД в линейном волоконно-оптическом тракте. Нелинейные явления: фазовая самомодуляция, фазовая кросс-модуляция, че-

тырехволновое смешение. Совместное действие линейных и нелинейных явлений на процессы распространения сигналов по ОВ.

Тема 4. Модуляция и мультиплексирование в ВОСС с DWDM (10 часов)

Виды модуляции оптических сигналов. Внутренняя и внешняя модуляция. Преимущества внешней модуляции. Электрооптический и электроабсорбционный эффекты и модуляторы на их основе. Бинарная и многоуровневая модуляция. Современные форматы внешней модуляции. Представление формата модуляции на фазовой плоскости (сигнальные созвездия). Спектры модулированных сигналов. Формирование сигналов DPSK, QPSK, DP-QPSK.

Мультиплексирование во временной (TDM) и волновой (WDM) областях. Мультиплексоры WDM. Терминальные оптические мультиплексоры DWDM и оптические мультиплексоры ввода/вывода OADM, принципы действия и параметры. Неуправляемые и управляемые мультиплексоры. Оптические коммутаторы на основе технологии MEMS.

Тема 5. Источники, приемники, трансиверы для ВОСС (14 часов)

Классификация, конструкции, принцип действия и параметры полупроводниковых лазеров. Вольтамперные и ваттамперные характеристики. Спектры излучения. Схемы включения при внутренней и внешней модуляции.

Классификация, конструкции, принцип действия и параметры фотоприемников. P-i-n и лавинные ФД. Плоскостной и торцевой ввод излучения. Вольтамперные характеристики. Схемы включения. Особенности ФД с высоким быстродействием и большим уровнем насыщения. Фотодиоды с одним типом носителей. Классификация, конструкции, схемы и параметры трансиверов. Энергетический прием бинарных сигналов, глаз-диаграмма. Шумы дробовые, тепловые. Шумы лавины и последующих схем.

Способы оценки качества связи в ВОСС. Коэффициент и вероятность ошибок, Q-фактор для бинарных и многоуровневых сигналов, оптическое отношение сигнала к шуму.

Трансиверы для ВОСС. Виды и конструктивное исполнение трансиверов. Оптические трансиверы SFP, SFP+, XFP, CFP. Маркировка трансиверов.

Тема 6. Когерентный прием цифровых оптических сигналов (8 часов)

Общее представление о когерентном приеме цифровых оптических сигналов. Преимущества. Трудности реализации и пути преодоления. Принцип действия, простейшая структурная схема когерентного приема. Гетеродинный, гомодинный и инфрадинный прием. Особенности гетеродинного приема и его ограничения. Обработка сигнала в электрическом тракте. Схема передающего устройства когерентной ВОСС. Оптическая схема инфрадинного приемника и схема преобразования в цифровой электрический сигнал. 90-градусный гибрид. Параметры гетеродина. Электронная цифровая обра-

ботка сигналов инфраинного приемника. Электронная компенсация ХД и ПМД. Восстановление несущей частоты и состояния поляризации сигнала. Моделирование процессов. Предельные возможности гетеродинного и гомодинного приема. Сравнение с энергетическим приемом.

Тема 7. Оптическое усиление и оптические усилители (8 часов)

Классификация оптических усилителей (ОУ). Эрбиевые ОУ (EDFA): принцип действия и параметры. Сечения поглощения и вынужденного излучения. Коэффициент усиления. Оптическое отношение сигнала к шуму. Энергетическая и квантовая эффективность накачки. Структурные схемы и режимы работы ОУ EDFA. Использование ОУ EDFA с удаленной накачкой.

Классификация, принцип действия и параметры волоконно-оптических рамановских ОУ. Распределенные и дискретные рамановские ОУ. Гибридные ОУ.

Классификация, принцип действия и параметры полупроводниковых ОУ. Перспективы их развития.

Тема 8. Пассивные оптические компоненты для ВОСС (10 часов)

Классификация, принципы действия, конструкции, параметры основных пассивных компонентов ВОСС: кроссы, оптические разъемные и неразъемные соединители, селективные и неселективные направленные разветвители, аттенюаторы, оптические изоляторы, циркуляторы и фильтры. Интегрально-оптические пассивные компоненты.

Тема 9. Специализированное программное обеспечение для настройки и управления платформой ВОЛГА. Реализация типовых схем ВОСС на базе оборудования ВОЛГА (14 часов)

Авторизация пользователя в программе управления. Права пользователя. Графический интерфейс. Область графического отображения шасси, его информационных и установочных параметров. Область динамических параметров. Область табличного представления данных о составе шасси. Область информации о текущем состоянии шасси. Функциональные возможности.

Начало работы с программным обеспечением. Выбор блоков. Просмотр доступных параметров и их изменение. Пороговые значения изменяемых параметров. Сохранение конфигурационных файлов. Использование журналов.

Создание типовых схем ВОСС. Конфигурирование и настройка отдельных устройств платформы ВОЛГА. Обеспечение взаимодействия устройств в схеме. Контроль работоспособности. Обеспечение резервирования.

Тема 10. Каналообразующее оборудование современных DWDM систем. Резервирование. ROADM и Flex ROADM (10 часов)

Транспондеры в оптических транспортных сетях. Назначение и структура транспондера. Характеристики транспондеров платформы ВОЛГА.

Агрегирующие транспондеры (мукспондеры). Назначение и структура мукспондера. Характеристики мукспондеров платформы ВОЛГА.

Реконфигурируемые мультиплексоры ввода/вывода ROADM. Технология Flexible Grid и мультиплексоры Flex ROADM.

Тема 11. Основы проектирования ВОСС (10 часов)

Теоретические основы проектирования многопролетных многоканальных ВОСС. Выбор уровней сигналов на входах в пролеты и длин пролетов. Учет шумов, обусловленных усиленным спонтанным излучением и нелинейными явлениями. Особенности подводных ВОСС.

Нормативно-техническая документация по проектированию ВОСС. Задание на проектирование. Исходные данные. Техничко-экономическое обоснование проекта. Технология и этапы проектирования.

Нормирование показателей качества цифровых каналов и трактов при проектировании ВОЛС. Выбор транспортных технологий.

Стандарты и характеристики оборудования когерентных оптических сетей. Мультисервисные транспортные платформы и их применение. Инженерный расчет параметров оптического линейного тракта.

Выбор трассы ВОЛС. Выбор оптического кабеля и муфт. Прокладка оптического кабеля. Требования и рекомендации.

Проектная, рабочая и исполнительная документация. Согласование и экспертиза.

Тема 12. Монтаж волоконно-оптических линейных трактов (8 часов)

Технологии сращивания ОВ. Сварка ОВ. Монтаж волоконно-оптического кабеля. Монтаж ОВ в кассетах. Монтаж муфт. Монтаж оконечного оборудования ВОЛС. Монтаж кроссов.

Тема 13. Измерения на волоконно-оптических линейных трактах (8 часов)

Классификация измерений. Измерение затухания и коэффициента затухания в линейном тракте. Измерители мощности, измерительные источники излучения, оптические тестеры, устройства для служебной связи. Определение коэффициента ошибок. Измерение параметров приемных устройств, трансиверов и транспондеров. Измерения параметров пассивных компонентов линейного тракта.

Основы метода обратного рассеяния. Рэлеевское рассеяние и френелевские отражения. Схема и принцип действия оптического рефлектометра. Параметры рефлектометров. Методика измерений коэффициента затухания, общих вносимых потерь, вносимых и возвратных потерь в локальных неоднородностях. Поиск повреждений и неоднородностей. Определение расстояний до них. Когерентные и бриллюэновские рефлектометры.

Тема 14. Эксплуатация оборудования ВОЛГА. Система управления «Титан» (8 часов)

Основные задачи эксплуатационного обслуживания оборудования ВОЛГА. Журнал возникновения нештатных и аварийных ситуаций, определение причин их возникновения, необходимые действия по их устранению.

Принципы управления сетью связи на базе оборудования ВОЛГА. Система централизованного управления «Титан» класса NMS (Network Management System). Основы работы с NMS «Титан». Получение информации о структуре сети и состоянии каналов связи. Управление конфигурацией сети. Мониторинг состояния узлов сети в режиме реального времени.

Перечень семинаров, практических и лабораторных работ

Номер темы	Наименование работы
1	Семинар: Общие сведения о волоконно-оптических транспортных сетях (2 часа)
2	Лабораторная работа на оборудовании ВОЛГА: Ознакомление с линейкой оборудования ВОЛГА (4 часа)
3	Виртуальная лабораторная работа: Линейные и нелинейные явления в одномодовых оптических волокнах (4 часа)
4	Виртуальная лабораторная работа: Исследование и сравнительный анализ ВОСС с использованием модуляции ASK и PSK (4 часа)
5	Лабораторная работа на оборудовании ВОЛГА: Исследование трансивера для ВОСС (4 часа) Виртуальная лабораторная работа: Сравнительное исследование ФПУ с p-i-n и ЛФД (4 часа)
6	Виртуальная лабораторная работа: Исследование когерентной ВОСС с QAM (4 часа)
7	Лабораторная работа на оборудовании ВОЛГА: Исследование оптического усилителя EDFA (4 часа)
8	Лабораторная работа: Исследование разветвителя (2 часа) Лабораторная работа: Исследование изолятора и циркулятора (2 часа)
9	Лабораторная работа на оборудовании ВОЛГА: Изучение специализированного программного обеспечения для настройки и управления платформой ВОЛГА (2 часа) Лабораторная работа на оборудовании ВОЛГА: Реализация типовых схем ВОСС на базе платформы ВОЛГА (8 часов)
10	Лабораторная работа на оборудовании ВОЛГА: Исследование транспондера (2 часа). Семинар: Современные ROADM и Flex ROADM (2 часа)
11	Семинар: Проектирование ВОСС (4 часа)
12	Практическая работа: Сращивание ОВ. Монтаж оптических кас-

Номер темы	Наименование работы
	сет (2 часа) Практическая работа: Монтаж кроссов (2 часа)
13	Лабораторная работа: Измерения в проходящем свете. Оптический тестер (2 часа) Лабораторная работа: Измерения в рассеянном свете. Оптический рефлектометр (2 часа)
14	Практическая работа на оборудовании ВОЛГА: Эксплуатация оборудования ВОЛГА (4 часа)
15	Зачет по курсу (4 часа)

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Формы и режим занятий: аудиторная; групповая; индивидуальная; самостоятельная работа.

5.2. Форма обучения: очная.

5.3. Срок освоения: 10 месяцев.

5.4. Применяемые средства обучения: компьютеры, мультимедийный комплекс, специализированное лабораторное оборудование и программное обеспечение.

5.5. Материально-техническое обеспечение реализации программы

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
Аудитория	лекции	Компьютер, мультимедийный комплекс
Лаборатория базовой кафедры ВТС DWDM (а. 604/1)	лабораторные и практические занятия	Платформа ВОЛГА, измерительное оборудование
Компьютерный класс кафедры ФиЛС (а. 615/1)	лабораторные и практические занятия	Компьютеры со специализированным программным обеспечением.

5.6. Учебно-методическое обеспечение программы

1. Листвин, В. Н. DWDM-системы: научное издание / В.Н. Листвин, В.Н. Трещиков. – 4-е изд. – М. : Техносфера, 2021. – 420 с.

2. Фокин В.Г. Когерентные оптические сети: учебное пособие / В.Г. Фокин. – Новосибирск: СибГУТИ, 2015. 372 с.

3. Методические указания к лабораторным работам на оборудовании Волга (готовятся к печати)

4. Методические указания к виртуальным лабораторным работам по дисциплине (готовятся к печати)

6. Оценка качества освоения программы

Оценка качества освоения программы осуществляется аттестационной комиссией в виде зачета в устной форме. Комиссия оценивает уровень усвоения слушателями материала, предусмотренного программой, и дает общую оценку - «зачтено», «не зачтено».

Перечень вопросов

1. Семейство технологий спектрального уплотнения WDM. Плотное спектральное уплотнение DWDM. Частотные планы.
2. Фиксированные и гибкие сетки каналов в системах DWDM.
3. Линейное и помехоустойчивое кодирование.
4. Инфокоммуникационная технология OTN.
5. Основные компоненты DWDM-систем на примере оборудования ВОЛГА.
6. Классификация и конструкции одномодовых ОВ.
7. Параметры одномодовых ОВ.
8. Нелинейные явления в одномодовых ОВ.
9. Модуляция оптических сигналов. Внешняя модуляция и способы ее осуществления.
10. Современные форматы модуляции оптических сигналов. Сигнальные созвездия.
11. Мультиплексирование во временной (TDM) и волновой (WDM) областях.
12. Оптические терминальные мультиплексоры DWDM.
13. Оптические мультиплексоры ввода/вывода. Неуправляемые и управляемые мультиплексоры.
14. Оптические коммутаторы на основе технологии MEMS.
15. Классификация, конструкции, принцип действия и параметры полупроводниковых лазеров.
16. Классификация, конструкции, принцип действия и параметры фотоприемников.
17. Фотоприемники на основе p-i-n и лавинных фотодиодов. Шумы фотоприемников.
18. Способы оценки качества связи в ВОСС.
19. Трансиверы для ВОСС.
20. Когерентный прием оптических сигналов и его преимущества. Гетеродинный, гомодинный и инфрадинный прием.

21. Шумы, обусловленные усиленным спонтанным излучением в оптических усилителях и нелинейными явлениями в ОВ.
22. Цифровая обработка сигналов в когерентных сетях. Электронная компенсация хроматической и поляризационно-модовой дисперсии.
23. Классификация оптических усилителей (ОУ). Эрбиевые ОУ (EDFA): принцип действия и параметры.
24. Структурные схемы и режимы работы ОУ EDFA.
25. Использование ОУ EDFA с удаленной накачкой.
26. Классификация, принципы действия, конструкции, параметры основных пассивных компонентов ВОСС.
27. Оптические разъемные и неразъемные соединители.
28. Оптические селективные и неселективные направленные разветвители.
29. Оптические аттенюаторы и фильтры.
30. Оптические изоляторы и циркуляторы.
31. Транспондеры и агрегирующие транспондеры в оптических транспортных сетях.
32. Техническое задание на проектирование ВОСС. Исходные данные для проектирования.
33. Этапы проектирования ВОСС. Проектная документация.
34. Инженерный расчет параметров оптического линейного тракта.
35. Монтаж волоконно-оптических линейных трактов.
36. Измерения в проходящем свете.
37. Измерения в рассеянном свете.
38. Специализированное программное обеспечение для настройки и управления платформой ВОЛГА – графический интерфейс и принципы работы.
39. Конфигурирование и настройка отдельных устройств платформы ВОЛГА.
40. Организация резервирования в ВОСС на базе платформы ВОЛГА.
41. Контроль работоспособности ВОСС на базе платформы ВОЛГА.

Слушатель считается аттестованным, если имеет положительные оценки (зачтено) по разделам программы, выносимым на зачет.

7. Составители программы

Былина М.С., к.т.н., доцент, зав. каф. ФиЛС

Глаголев С.Ф., к.т.н., доцент, доцент каф. ФиЛС

Марченко К.В., заместитель генерального директора по стратегическому развитию ООО «Т8»