

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

**Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича»**



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор-проректор по
методической работе

Г.М.Мапков

2021 г.

Регистрационный № 13-2021

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА
ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ**

**«Основы квантовых коммуникаций на базе
волоконно-оптических линий связи»**

Санкт-Петербург
2021 г.

1. Цель реализации программы

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

– анализ, применение и развитие современных технологий квантовых коммуникаций на базе волоконно-оптических линий связи, включая формирование, передачу, обработку и регистрацию квантовых сигналов в волоконно-оптических каналах передачи данных, протоколы квантового распределения ключей (КРК), принципы построения и компонентную базу распределенных защищенных сетей с использованием протоколов КРК.

2. Требования к результатам обучения

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

слушатель должен знать:

– современные инфокоммуникационные технологии, принципы действия, структурные схемы и компонентную базу современных волоконно-оптических сетей связи (ВОСС);

– современные оптические волокна, их классификацию, конструкции и параметры;

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

– принципы квантового распределения ключей и основные протоколы КРК;

– технологии мультиплексирования в системах квантовых коммуникаций, применение технологий WDM для мультиплексирования квантовых и классических каналов;

– проблемы создания квантовых повторителей, квантово запутанные состояния;

– оборудование отечественных и зарубежных производителей для распределенных защищенных сетей на основе волоконно-оптических линий связи с использованием протоколов КРК.

слушатель должен уметь:

– использовать современные достижения науки и передовые инфокоммуникационные технологии в области ВОСС и квантовых коммуникаций;

– использовать для анализа и решения задач знание основных понятий и фундаментальных физических законов в области ВОСС и квантовых коммуникаций;

- обосновывать выбор и проводить сравнительный анализ технологий и оборудования для ВОСС и квантовых коммуникаций;
- обосновывать технические решения по выбору оптических и квантовых устройств и систем передачи, обработки и записи информации;
- обосновывать технические решения по выбору структурной схемы и компонентов распределенных защищенных сетей с использованием протоколов КРК.

3. Содержание программы¹

Категория слушателей – высшее образование, преподаватели высшей школы.

Срок обучения – 72 часа.

Форма обучения – заочная

Учебный план
программы повышения квалификации
«Основы квантовых коммуникаций на базе
волоконно-оптических линий связи»

№ п/п	Наименование модулей	Всего, час.	В том числе	
			лекции	Практич. и лаборат. занятия
1	Современные волоконно-оптические сети связи (ВОСС)	32	16	16
2	Основы квантовых коммуникаций	38	18	20
3	Зачет	2	0	2
	Всего	72	36	36

№ п/п	Наименование разделов и тем	Всего, час.	В том числе	
			лекции	Практич. и лаборат. занятия
1	2	3	4	5
1	Современные волоконно-оптические сети связи (ВОСС)	32	16	16
1.1	Инфокоммуникационные технологии, применяемые в современных ВОСС	8	4	4
1.2	Оптические волокна для современных ВОСС	8	4	4
1.3	Структурные схемы и компоненты современных ВОСС	8	4	4
1.4	Процессы генерации, передачи, приема и обработки оптических сигналов в современных ВОСС	8	4	4

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

1	2	3	4	5
2	Основы квантовых коммуникаций	40	20	20
2.1	Принципы и протоколы квантового распределения ключей (КРК)	8	4	4
2.2	Основы построения распределенных защищенных сетей с использованием протоколов КРК	8	4	4
2.3	Мультиплексирование в системах квантовых коммуникаций на основе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)	8	4	4
2.4	Протяженные квантовые сети. Квантовая запутанность. Квантовые повторители.	8	4	4
2.5	Современное оборудование для распределенных защищенных сетей с использованием протоколов КРК на основе ВОЛС	6	2	4
3	Зачет	2	0	2

Учебная программа
«Основы квантовых коммуникаций на базе
волоконно-оптических линий связи»

Модуль 1. Современные волоконно-оптические сети связи (ВОСС)
(32 часа)

Тема 1.1. Инфокоммуникационные технологии, применяемые в современных ВОСС (8 часов)

Протоколы, топологии, форматы данных, виды мультиплексирования, форматы используемой модуляции и кодирования для инфокоммуникационных технологий PDH, SDH, Ethernet, OTN.

Принципы построения, схемы, конструкции и параметры сетевого оборудования.

Особенности технологий PDH, SDH, Ethernet, OTN.

Тема 1.2. Оптические волокна для современных ВОСС (8 часов)

Классификация современных телекоммуникационных оптических волокон. Одномодовые и многомодовые оптические волокна. Международные стандарты. Параметры и характеристики оптических волокон.

Особенности применения современных телекоммуникационных оптических волокон в ВОСС.

Тема 1.3. Структурные схемы и компоненты современных ВОСС (8 часов)

Основные структурные схемы, их элементы. Передающие и приемные устройства, модуляторы, кодеры, регенераторы, мультиплексоры DWDM, кроссовое оборудование, кросс-коммутаторы, оптические усилители. Пассивные компоненты ВОСС. Принципы действия, конструкции и параметры.

Состав оборудования, сетевые топологии. Управление сетью.

Тема 1.4. Процессы генерации, передачи, приема и обработки оптических сигналов в высокоскоростных ВОСС (8 часов)

Формирование оптических сигналов для ВОСС.

Описание процессов передачи сигналов по оптическим волокнам с учетом линейных и нелинейных явлений.

Особенности энергетического и когерентного приема оптических сигналов.

Обработка оптических и электрических сигналов в ВОСС. Качество связи.

Модуль 2. Основы квантовых коммуникаций (38 часов)

Тема 2.1. Принципы и протоколы квантового распределения ключей (КРК)

Проблемы распределения ключей для современной защиты информации. Основные принципы квантового распределения ключей.

Системы квантового распределения ключа.

Протоколы квантового распределения ключа (КРК). Обзор основных протоколов КРК. Протокол BB84 с поляризационным кодированием.

Тема 2.2. Основы построения распределенных защищенных сетей с использованием протоколов КРК

Концепция квантовой сети. Принципы передачи квантовой информации. Кодирование в квантовых системах.

Структурные схемы распределенных защищенных сетей с использованием протоколов КРК.

Компоненты распределенных защищенных сетей с использованием протоколов КРК. Генераторы и детекторы одиночных фотонов.

Тема 2.3. Мультиплексирование в системах квантовых коммуникаций на основе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)

Технологии спектрального мультиплексирования xWDM. Оптические мультиплексоры xWDM.

Мультиплексирование квантовых и классических каналов.

Тема 2.4. Протяженные квантовые сети. Квантовая запутанность. Квантовые повторители.

Проблемы создания протяженных квантовых сетей.

Квантовая запутанность и телепортация квантового состояния.

Возможности реализации квантовых повторителей.

Тема 2.5. Современное оборудование для распределенных защищенных сетей с использованием протоколов КРК на основе ВОЛС

Мировой уровень развития квантовых сетей. Зарубежное и отечественное оборудование для распределенных защищенных сетей с использованием протоколов КРК на основе ВОЛС.

Актуальные задачи развития квантовых сетей.

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторной работы
1.2	Изучение процессов распространения оптических импульсов в одномодовых оптических волокнах (4 часа)
1.3	Исследование современных форматов модуляции оптических сигналов (4 часа)
1.4	Измерение параметров передающих и приемных устройств ВОСС (4 часа)
2.3	Измерение параметров оптического мультиплексора WDM (2 часа)

Перечень практических занятий

Номер темы	Наименование практического занятия
1.1	Оптические транспортные сети (OTN) (4 часа)
2.1	Протоколы КРК: BB84, B92, SARG04 (4 часа)
2.2	Структурные схемы и компоненты распределенных защищенных сетей с использованием протоколов КРК. Генераторы и детекторы одиночных фотонов (4 часа)
2.3	Мультиплексирование квантовых и классических каналов (2 часа)
2.4	Квантовая запутанность и квантовые повторители (4 часа)
2.5	Современное состояние и перспективы развития квантовых сетей (4 часа)

4. Организационно-педагогические условия

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

4.2. Форма обучения: очно-заочная, заочная.

4.3. Срок освоения: 1 месяц.

4.4. Применяемые средства обучения: компьютеры, мультимедийный комплекс.

4.5. Материально-техническое обеспечение реализации программы

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
Аудитория	лекции	Компьютер, мультимедийный комплекс
Компьютерный класс или собственный компьютер слушателя	Практические и лабораторные занятия	Электронные учебно-методические материалы, специализированное программное обеспечение

4.6. Учебно-методическое обеспечение программы

1. Фокин, В. Г. Когерентные оптические сети: учеб. пособие / В. Г. Фокин. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2015. - 371 с.

2. Листвин, В. Н. DWDM-системы: научное издание / В. Н. Листвин, В. Н. Трешиков. – 2-е изд. – М. : Техносфера, 2015. – 278 с.

3. Былина, М.С. Оптические волокна в телекоммуникациях : [Электронный ресурс]: учеб. пособие / М. С. Былина, С. Ф. Глаголев. - СПб.: СПбГУТ, 2019. – 108 с.

4. Козубов, А.В. Основы квантовой коммуникации. Часть 1: учебное пособие / А.В. Козубов, А.А. Гайдаш, С.М. Кынев, В.И. Егоров, А. Е. Иванова, А.В. Глейм, Г.П. Мирошниченко. – СПб. : ИТМО, 2019. – 85 с.

5. Львовский, А. Отличная квантовая механика: учеб. пособие в 2 ч. / А. Львовский; пер. с англ. – М.: Альпина нон-фикшн, 2019. – 422 с.

6. Холево, А.С. Квантовые системы, каналы, информация / А.С. Холево. – М.: МЦНМО, 2014. – 327 с.

7. Гузик, В.Ф. Основы теории построения квантовых компьютеров и моделирование квантовых алгоритмов: монография / В.Ф. Гузик, С.М. Гушанский, Е.В. Ляпунова, В.С. Потапов. – М.: ФИЗМАТЛИТ; Ростов-на-Дону – Таганрог: Издательство ЮФУ, 2019. – 287 с.

5. 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. Особенности и применение технологий PDH, SDH, Ethernet, OTN.
2. Принципы построения волоконно-оптических сетей связи с применением технологии OTN.
3. Типы и параметры одномодовых оптических волокон.
4. Пассивные компоненты волоконно-оптических сетей связи.
5. Передающие устройства волоконно-оптических сетей связи.
6. Приемные устройства волоконно-оптических сетей связи.
7. Модуляция и кодирование в волоконно-оптических сетях связи.
8. Энергетический и когерентный прием оптических сигналов.
9. Оптическое усиление и волоконные оптические усилители.
10. Протоколы квантового распределения ключа.
11. Протокол квантового распределения ключа BB84 с поляризационным кодированием.
12. Принципы передачи квантовой информации. Кодирование в квантовых системах.
13. Генераторы одиночных фотонов.
14. Детекторы одиночных фотонов.
15. Технологии спектрального мультиплексирования xWDM.
16. Мультиплексирование классических и квантовых каналов в квантовых сетях.
17. Проблемы создания протяженных квантовых сетей.
18. Квантовая запутанность и квантовые повторители.

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

6. Составители программы

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

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