

**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  
02.03.02 Фундаментальная информатика и  
информационные технологии,  
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)  
Тимониным В.С.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Квантовые сети и коммуникации**

Направление подготовки: 02.03.02 Фундаментальная информатика и  
информационные технологии

Направленность (профиль): Квантовые вычислительные системы и сети

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: 4196  
Подписал: заведующий кафедрой Желенков Борис  
Владимирович  
Дата: 24.10.2024

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

Целями освоения учебной дисциплины «Квантовые сети и коммуникации» является формирование у обучающихся комплекса знаний, умений и навыков, необходимых для теоретического анализа и практического построения систем квантовой криптографии.

В курсе изложены необходимые сведения по классической теории информации, а также изучаются основы математического аппарата классической криптографии. В частности, рассматриваются системы симметричного и асимметричного шифрования, одноразовые ключи, критерий Шеннона абсолютной секретности. Изучаются основы аппарата квантовой оптики, необходимые для изучения систем квантовых коммуникаций, в частности, изучаются слабые когерентные и однофотонные состояния. Рассматриваются основные стадии квантовых протоколов распределения ключей. Изучается элементная база систем КРК и виды квантовых каналов связи: способы создания одиночных фотонов (ослабленных когерентных состояний?), детекторы одиночных фотонов, особенности распространения одиночных фотонов по оптоволоконным каналам связи. Освещаются основные протоколы квантового распределения ключей и изучается их реализация. Рассматриваются методы практической очистки первичных ключей и методы сжатия ключей (усиления секретности) в квантовой криптографии. Рассматриваются различные атаки на системы квантового распределения ключей, в частности, атака с расщеплением по числу фотонов, атака с подменой фазы в системах с фазовым кодированием, атака с ослеплением фотодетекторов. Изучаются методы борьбы с такими атаками. Проводится анализ стойкости квантовых протоколов распределения ключей.

Студенты должны научиться проектировать компьютерные сети с использованием современного сетевого оборудования в соответствии со стандартами и выполнять задачи по настройке оборудования и поддержке работоспособности сети.

Основными задачами дисциплины являются:

- изучить основные принципы и подходы к построению систем квантовой коммуникации и распределенных защищенных сетей на их основе;
- освоить принципы формирования, передачи и регистрации квантовых сигналов в волоконно-оптических и атмосферных каналах передачи данных;
- изучить базовые протоколы, подходы к обоснованию их стойкости, методы экспериментальной реализации;

- овладеть навыками работы с экспериментальными системами квантовой коммуникаций;
- овладеть навыком самостоятельной работы с технической документацией устройств квантовой коммуникации.

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

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

**ПК-4** - Способность управлять планово-профилактическими работами и проводить техническое обслуживание на оборудовании компьютерной сети и участка сети квантовых коммуникаций;

**ПК-5** - Способность выявлять и устранять технические проблемы в компьютерной сети и на участке сети квантовых коммуникаций;

**ПК-6** - Способность проводить технологическое обеспечение технической эксплуатации оборудования компьютерной сети и участка сети квантовых коммуникаций.

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

### **Знать:**

- основные понятия и определения квантовых коммуникаций;
- системы квантовых коммуникаций;
- концепцию квантовой сети;
- мультиплексирование в системах квантовой коммуникации;
- квантовые коммуникации передача данных по одному каналу;
- квантовые повторители;
- основные параметры квантового канала связи;
- актуальные задачи развития систем квантового распределения ключа.

### **Уметь:**

- осуществлять сварку оптического волокна;
- определять потери;
- работать с оптическим рефлектометром;
- собирать оптические схемы;
- проводить измерения основных параметров квантового канала связи.

### **Владеть:**

- навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач;

- навыками современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения;

- навыками оптимального выбора пакетов прикладных программ для квантовых расчетов и математических инструментов для моделирования квантовой динамики.

### 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	32	32
Занятия семинарского типа	32	32

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. Основы квантовых сетей и коммуникаций как учебная дисциплина</b> Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"><li>- Введение в учебную дисциплину.</li><li>- Основные термины.</li><li>- Концепция квантовой сети.</li><li>- Квантовые принципы.</li><li>- Квантовая метрология.</li><li>- Квантовая информация: алгоритмы, протоколы, криптография.</li><li>- Передача данных по одному каналу.</li><li>- Квантовые повторители.</li></ul>
2	<b>Задачи развития систем квантовых коммуникаций</b> Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"><li>- Увеличение скорости и дальность систем квантовой коммуникации.</li><li>- Разработка квантовых повторителей.</li></ul>
3	<b>Квантовые коммуникации в свободном пространстве</b> Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"><li>- Первый эксперимент по передаче квантовых ключей через атмосферный канал связи.</li><li>- Квантовая коммуникация по атмосферному каналу связи в условиях прямой видимости.</li><li>- Квантовая коммуникация между движущимся и наземным объектами.</li></ul>
4	<b>Квантовые технологии</b> Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"><li>- Содержание квантовых технологий.</li><li>- Квантовые электромеханические системы.</li></ul>
5	<b>Основы теории квантовых вычислений</b> Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"><li>- Модели классических вычислений.</li><li>- Основные понятия теории вычислительной сложности.</li><li>- Измерения в квантовой теории.</li></ul>
6	<b>Задачи квантовой обработки информации</b> Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"><li>- Разработка и создание новых материалов и базовых элементов для задач квантовой обработки информации.</li><li>- Разработка и создание «квантовых проводов» для передачи квантового состояния между регистрами в квантовом компьютере.</li><li>- Квантовая фотоника.</li><li>- Квантовые симуляторы.</li></ul>
7	<b>Концепция квантовой сети</b> Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"><li>- Особенности систем квантовой коммуникации.</li><li>- Направления использования квантованных ВОЛС.</li><li>- Квантовая коммуникационная сеть.</li></ul>
8	<b>Мультиплексирование в системах квантовой коммуникации</b> Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"><li>- Спектральное уплотнение каналов (WDM).</li><li>- Коэффициент квантовых ошибок.</li><li>- Кодирование квантовых бит.</li></ul>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
9	<p><b>Квантовые коммуникации и передача данных по одному каналу</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Скорости безопасного распределения квантовых бит.</li> <li>- Производительность КРК с дуплексным безошибочным гигабитным каналом передачи данных.</li> <li>- «Шумовые фотоны»</li> </ul>
10	<p><b>Квантовые повторители</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Протяженные квантовые каналы.</li> <li>- Принцип квантового повторителя. DLCZ протокол.</li> </ul>
11	<p><b>Каналы и пропускная способность</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Классическая и квантовая информация.</li> <li>- Передача классической информации по квантовому каналу.</li> <li>- Пропускная способность квантового канала.</li> <li>- Квантовая пропускная способность.</li> <li>- Алгоритмы сжатия квантовой информации.</li> </ul>
12	<p><b>Особенности оптического диапазона передачи информации</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Учет квантовых свойств излучения.</li> <li>- Флуктуации. Мощность. Оптические потери.</li> <li>- Условная энтропия, относительная энтропия и информация Шеннона.</li> </ul>
13	<p><b>Сцепленность квантовых состояний</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Квантовая сцепленность как информационный ресурс.</li> <li>- Тензорное произведение.</li> <li>- Расширение Наймарка.</li> <li>- Разложение Шмидта и очищение.</li> <li>- Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена.</li> <li>- Неравенство Белла.</li> </ul>
14	<p><b>Увеличение скорости и дальности систем квантовой коммуникации</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы: Параметры систем классических коммуникация. Потери в оптическом волокне систем квантовой коммуникации.</p>
15	<p><b>Увеличение спектральной эффективности систем квантовой коммуникации</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Спектральная эффективность систем квантовой связи.</li> <li>- Разработка квантовых повторителей.</li> <li>- Повышение эффективности источников и приёмников одиночных фотонов.</li> <li>- Разработка методов борьбы с атаками на квантовый канал, использующие несовершенство устройств.</li> </ul>
16	<p><b>Типы атак на системы квантового распределения ключа</b></p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Индивидуальные атаки.</li> <li>- Коллективные атаки.</li> <li>- Когерентные атаки.</li> </ul>

## 4.2. Занятия семинарского типа.

### Лабораторные работы

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
1	<p>Определение характеристик ОВ по его маркировке в различных стандартах.</p> <p>Изучение конструкции ВОК различных марок</p> <p>В результате выполнения работы студент получит понимание о типах и марках оптических кабелей фирмы “СЕВКАБЕЛЬ-ОПТИК”, узнает элементы конструкций оптических кабелей и их назначение.</p>
2	<p>Неразъемное соединение оптического волокна. Сварка волокна</p> <p>В результате выполнения работы студент получит навыки сварки одномодовых волокон с последующей заделкой места сварки световодов при помощи термоусаживаемых гильз.</p>
3	<p>Монтаж волокна на сплайс-пластине</p> <p>В результате выполнения работы студент получит навыки работы с оптическим волокном, узнает элементы конструкций оптических кабелей и муфт и их назначение.</p>
4	<p>Монтаж оптических муфт</p> <p>В результате выполнения работы студент получит навыки монтажа оптических муфт, узнает элементы конструкций оптических кабелей и муфт и их назначение.</p>
5	<p>Универсальный соединитель оптического волокна Fibrlok II 2529</p> <p>Универсальный соединитель оптического волокна Fibrlok II 2529.</p>
6	<p>Методы прокладки ВОК</p> <p>В результате выполнения работы студент получит практические навыки по оценке методов прокладки ВОК.</p>
7	<p>Изучение конструкции и проведение измерений оптическим рефлектометром</p> <p>В результате выполнения работы студент изучит принцип измерения параметров волоконно-оптического кабеля методом обратного рассеяния, изучит устройство и порядок использования оптического рефлектометра Топаз 9000.</p>
8	<p>Изучение конструкции и проведение измерений оптическим рефлектометром(продолжение)</p> <p>В результате выполнения работы студент изучит принцип измерения параметров волоконно-оптического кабеля методом обратного рассеяния, изучит устройство и порядок использования оптического рефлектометра Топаз 9000</p>
9	<p>Измерение основных параметров оптического волокна</p> <p>В результате выполнения работы студент получит практические навыки по изучению физических параметров оптического волокна по прямым геометрическим и оптическим измерениям, которые демонстрируют структуру оптического волокна, что позволяет понять назначение и физический смысл вводимых физических параметров.</p>
10	<p>Измерение коэффициента затухание в оптическом волокне</p> <p>В результате выполнения работы студент получит практические навыки по изучению физических явлений приводящих к затуханию света в оптических волокнах, получение навыков по измерению коэффициента затухания, выявление особенностей ввода излучения в волокно связанных с вытекающими модами.</p>
11	<p>Измерение параметров пассивного оптического элемента</p> <p>В результате выполнения работы студент получит практические навыки по изучению физических принципов деления оптических потоков в оптических волокнах и измерение параметров оптического сплиттера, полученного методом сплавления.</p>
12	<p>Паразитные акустические модуляции и наводки в элементах волоконно-оптических сетей: спектральный анализ</p> <p>В результате выполнения работы студент получит практические навыки по изучению физических принципов акустических паразитных модуляций и наводок в оптических потоках кабеля, измерение основных параметров, демонстрация канала утечки речевой информации на их основе.</p>

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
13	Паразитные акустические модуляции и наводки в элементах волоконно-оптических сетей: спектральный анализ (продолжение) В результате выполнения работы студент получит практические навыки по изучению физических принципов акустических паразитных модуляций и наводок в оптических потоках кабеля, измерение основных параметров, демонстрация канала утечки речевой информации на их основе.
14	Паразитные акустические модуляции и наводки в элементах волоконно-оптических сетей: анализ артикуляционным методом В результате выполнения работы студент получит практические навыки по изучению физических принципов акустических паразитных модуляций и наводок в оптических потоках кабеля, измерение основных параметров, демонстрация канала утечки речевой информации на их основе.
15	Паразитные акустические модуляции и наводки в элементах волоконно-оптических сетей?: анализ артикуляционным методом. (Продолжение) В результате выполнения работы студент получит практические навыки по изучению физических принципов акустических паразитных модуляций и наводок в оптических потоках кабеля, измерение основных параметров, демонстрация канала утечки речевой информации на их основе.
16	Составить интеллект – карту «Применение квантовых коммуникаций» В результате выполнения работы студент получит практические навыки по визуализации и структурированию информации по применению квантовых коммуникаций.

#### 4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Разработать сеть передачи данных с использованием протоколов RIP, EIGRP, HSRP.
2	Разработать сеть передачи данных с использованием протоколов RIP, EIGRP, HSRP.
3	Подготовка к промежуточной аттестации.
4	Подготовка к текущему контролю.

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

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Г.Олифер, Н.А.Олифер. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 3_е издание СПб.: Питер, 2006. 958с. УДК 681.3 ISBN 5-469-00504-6	научно-техническая библиотека МИИТ, 15 экз.
2	Желенков Б.В., Основы сетевых технологий. Физический уровень : метод. указ. к лаб. раб. по дисц. "Сети ЭВМ и телекоммуникации" для студ. IV курса спец. "Вычислительные машины,	<a href="http://library.miit.ru/bookscatalog/metod/04-78203.pdf">http://library.miit.ru/bookscatalog/metod/04-78203.pdf</a>



	комплексы, системы и сети" МИИТ. Каф. "Вычислительные системы и сети". - М. : МИИТ, 2007. - 43 с.	
3	Желенков Б.В. Работа коммутаторов Cisco в локальных сетях : учеб. пособие для студ. 4 курса спец. "Информатика и вычислительная техника" по дисц. "Сети ЭВМ и телекоммуникации" / Б.В. Желенков ; МИИТ. Каф. "Вычислительные системы и сети". - М. : МИИТ, 2007. - 92 с.	<a href="http://library.miit.ru/bookscatalog/upos/04-35255.pdf">http://library.miit.ru/bookscatalog/upos/04-35255.pdf</a>
4	Желенков Б.В., Канальный уровень модели OSI: метод. указ. к лаб. раб. по дисц. Сети ЭВМ и телекоммуникации для студ. 4 курса спец. Вычислительные машины, комплексы, системы и сети, напр. Информатика и вычислительная техника /; МИИТ. Каф. Вычислительные системы и сети. - М.: МИИТ, 2011. - 50 с. : а-ил. - Библиогр.: с. 49.	<a href="http://library.miit.ru/bookscatalog/metod/03-41547.pdf">http://library.miit.ru/bookscatalog/metod/03-41547.pdf</a>
5	Голдовский Я.М., Желенков Б.В., Цыганова Н.А. Маршрутизация в компьютерных сетях: Учебное пособие. - М.: РУТ (МИИТ), 2017. – 114 с.	<a href="http://library.miit.ru/bookscatalog/metod/DC-407.pdf">http://library.miit.ru/bookscatalog/metod/DC-407.pdf</a>

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

Научно-техническая библиотека РУТ(МИИТ) <http://library.miit.ru/>  
Официальный сайт по поддержке решений Cisco <https://www.cisco.com/>  
Форум специалистов по информационным технологиям <http://citforum.ru/>  
Интернет-университет информационных технологий <http://www.intuit.ru/>  
Тематический форум по информационным технологиям <http://habrahabr.ru/>

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

Microsoft Windows  
Microsoft Office

Интернет-браузер (Yandex и др.)

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

Учебная аудитория для проведения учебных занятий (занятий лекционного типа, лабораторных работ):

- компьютер преподавателя, рабочие станции студентов, программно-аппаратный комплекс ViPNet, АПКШ «Континент», серверы доступа, коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны, мультимедийное оборудование, доска,

Аудитория подключена к сети «Интернет».

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет в 7 семестре.

10. Оценочные материалы.

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

Авторы:

заведующий кафедрой, доцент, к.н.  
кафедры «Вычислительные  
системы, сети и информационная  
безопасность»

Б.В. Желенков

Согласовано:

Заведующий кафедрой ВССиИБ

Б.В. Желенков

Председатель учебно-методической  
комиссии

Н.А. Андриянова