

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**  
**(РУТ (МИИТ))**



Рабочая программа дисциплины (модуля),  
как компонент образовательной программы  
базового высшего образования  
по направлению подготовки  
02.03.02 Фундаментальная информатика и  
информационные технологии,  
утвержденной первым проректором ФГАОУ ВО  
РУТ (МИИТ) Тимониным В.С.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Магистральные квантовые сети**

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 ФГАОУ ВО РУТ  
(МИИТ)

ID подписи: 4196

Подписал: заведующий кафедрой Желенков Борис  
Владимирович

Дата: 25.09.2026

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

Целями освоения учебной дисциплины « Магистральные квантовые сети» являются изучение общих принципов проектирования, основ построения систем управления и синхронизации сетей и средств электросвязи на современном этапе развития Единой сети электросвязи РФ, вопросы оптимизации решений при проектировании цифровых телекоммуникационных систем. Рассматриваются общие принципы проектирования и эксплуатации систем передачи, базовое оборудование первичной сети – системы СЦИ. Изучаются принципы построения и защиты транспортных сетей СЦИ на основе базовых топологических схем, а также системы сетевой тактовой синхронизации (ТС), их структуры, типы ТС и методы защиты ТС. Рассматриваются системы передачи с волновым уплотнением и особенности проектирования сетевых структур таких систем.

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:

овладение методами использования аппаратных и программные средства вычислительных систем и систем телекоммуникаций при решении экономических задач, а также изучение основ конструирования и критериев работоспособности вычислительных систем и систем телекоммуникаций; научатся проектировать компьютерные сети с использованием современного сетевого оборудования в соответствии со стандартами и выполнять задачи по настройке оборудования и поддержке работоспособности сети; получают навыки в обращении оптической секции передачи (ОСП) различной конфигурации одноканальных систем и систем с волновым уплотнением, а также методика расчета их протяженности в зависимости от потерь мощности и дисперсии, как при наличии, так и при отсутствии промежуточных усилителей.

## 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:**

- принципы работы систем квантового распределения ключей (QKD) на большие расстояния, архитектуру доверенных узлов;
- архитектуру и протоколы магистральных транспортных сетей (OTN, DWDM/CWDM) и классических IP-сетей (BGP, OSPF, MPLS);
- принципы работы контроллеров SDN (Software-Defined Networking) и механизмы оркестрации гибридных классическо-квантовых сетей;
- протоколы классической постобработки квантовых данных и требования к классическому каналу аутентификации<sup>4</sup>
- физические принципы распределения квантовых ключей (QKD) в магистральных сетях;
- архитектуру магистральных квантовых сетей;
- принципы работы классического постобработки ключа и требования к пропускной способности классического канала.

**Уметь:**

- использовать системы управления квантовыми сетями и классические для мониторинга состояния узлов в режиме реального времени;
- использовать классические сетевые анализаторы для проверки целостности классического канала постобработки и канала синхронизации;
- восстанавливать работоспособность классического сегмента, обеспечивающего работу служб квантовой сети;
- рассчитывать бюджет оптических потерь для квантового канала с учетом требований к однофотонным детекторам и допустимым уровнем QBER;
- проектировать схемы защиты и резервирования квантовых узлов.

**Владеть:**

- навыками настройки классических интерфейсов QKD-узлов, интеграции квантовых генераторов ключей с классическими шлюзами, настройки протоколов синхронизации времени в гетерогенных сетях

- навыками настройки и администрирования классических IP-сетей и транспортных сетей, обеспечивающих работу QKD-устройств;
- методами резервирования и восстановления квантовых ключей;
- навыками конфигурирования и мониторинга гибридных сетей;
- методиками эксплуатации систем постквантовой криптографии (PQC) в связке с QKD;
- навыками реагирования на инциденты: алгоритмы действий при компрометации доверенного узла, обрыве квантового канала или атаке типа "Man-in-the-Middle" на классический канал аутентификации.

### 3. Объем дисциплины (модуля).

#### 3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 3 з.е. (108 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 №8 |
| Контактная работа при проведении учебных занятий (всего): | 50               | 50         |
| В том числе:                                              |                  |            |
| Занятия лекционного типа                                  | 30               | 30         |
| Занятия семинарского типа                                 | 20               | 20         |

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 58 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.

| №<br>п/п | Тематика лекционных занятий / краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | <b>Основы системного подхода к проектированию систем и линий передачи</b><br>Рассматриваемые вопросы:<br>- системный подход к проектированию, структура процесса проектирования.                                                                                                                                                                                           |
| 2        | <b>Выбор конфигурации проектируемой сетевой структуры</b><br>Рассматриваемые вопросы:<br>- методика и начальные этапы проектирования сети, исходные данные, выбор размера и структуры сети.                                                                                                                                                                                |
| 3        | <b>Обоснование выбора сетевой структуры, определение нагрузки на соединительные линии</b><br>Рассматриваемые вопросы:<br>- изучение технических требований по оборудованию и интерфейсам сетей доступа;<br>- освоение методики расчёта нагрузки в сетях доступа.                                                                                                           |
| 4        | <b>Выбор оптических интерфейсов, оптического волокна и сетевого оборудования</b><br>Рассматриваемые вопросы:<br>- основные конструкции и элементы оптических кабелей;<br>- классификация волоконно-оптических кабелей;<br>- диэлектрические кабели связи для железных дорог;<br>- комбинированные кабели для железных дорог;<br>- трасса волоконно-оптической линии связи. |
| 5        | <b>Многоканальные волоконно-оптические системы передачи</b><br>Рассматриваемые вопросы:<br>- общие сведения;<br>- технологии передачи цифровых сигналов;<br>- плезиохронная цифровая иерархия;<br>- синхронная цифровая иерархия;<br>- асинхронный режим передачи;<br>- технология IP.                                                                                     |
| 6        | <b>Волоконно-оптические телекоммуникационные сети связи</b><br>Рассматриваемые вопросы:<br>- системные аспекты создания цифровых сетей связи;<br>- структура телекоммуникационных сетей связи железных дорог;<br>- первичная сеть связи;<br>- вторичные сети связи.                                                                                                        |
| 7        | <b>Система тактовой синхронизации цифровых сетей связи</b><br>Рассматриваемые вопросы:<br>- источники синхронизации цифровых сетей связи;<br>- аппаратура переключения каналов.                                                                                                                                                                                            |
| 8        | <b>Надежность и устойчивость сетей связи</b><br>Рассматриваемые вопросы:<br>- факторы, влияющие на надежность;<br>- расчет надежности ВОЛП;<br>- способы повышения надежности первичной сети.                                                                                                                                                                              |
| 9        | <b>Контроль и измерение каналов трактов</b><br>Рассматриваемые вопросы:                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

| №<br>п/п | Тематика лекционных занятий / краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- измерение оптической мощности;</li> <li>- измерение затухания ВОК;</li> <li>- методы измерения затухания с использованием проходящего света (метод обрыва);</li> <li>- метод вносимых потерь.</li> </ul>                                                                                                                                                                |
| 10       | <b>Инфокоммуникационные технологии, применяемые в современных ВОСС</b><br>Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"> <li>- протоколы;</li> <li>- топологии;</li> <li>- форматы данных;</li> <li>- виды мультиплексирования;</li> <li>- форматы используемой модуляции и кодирования для инфокоммуникационных технологий PDH, SDH, Ethernet, OTN.</li> </ul>                                     |
| 11       | <b>Принципы и протоколы квантового распределения ключей (КРК)</b><br>Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"> <li>- проблемы распределения ключей для современной защиты информации;</li> <li>- основные принципы КРК;</li> <li>- обзор основных протоколов КРК;</li> <li>- протокол BB84.</li> </ul>                                                                                         |
| 12       | <b>Мультиплексирование в системах магистральных квантовых коммуникаций на основе ВОЛС</b><br>Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"> <li>- технологии спектрального мультиплексирования xWDM;</li> <li>- оптические мультиплексаторы xWDM;</li> <li>- мультиплексаторы квантового и классического канала.</li> </ul>                                                                         |
| 13       | <b>Протяженные квантовые сети. Квантовая запутанность. Квантовые повторители</b><br>Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"> <li>- проблемы создания протяженных квантовых сетей;</li> <li>- квантовая запутанность и телепортация квантового состояния.</li> </ul>                                                                                                                           |
| 14       | <b>Современное оборудование для магистральных защищенных квантовых сетей с использованием протокола КРК на основе ВОЛС</b><br>Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"> <li>- мировой уровень развития квантовых сетей;</li> <li>- зарубежное и отечественное оборудование для магистральных защищенных квантовых сетей с использованием протокола квантового распределения ключей.</li> </ul> |
| 15       | <b>Современное оборудование для магистральных защищенных квантовых сетей с использованием протокола КРК на основе ВОЛС.(продолжение)</b><br>Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none"> <li>- актуальные задачи развития квантовых сетей.</li> </ul>                                                                                                                                             |

## 4.2. Занятия семинарского типа.

### Лабораторные работы

| №<br>п/п | Наименование лабораторных работ / краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | <b>Потери соединения волоконных световодов</b><br>В результате выполнения работы студент получит знания о механизмах возникновения потерь при соединении волоконных световодов, приобретение навыков их экспериментального исследования и теоретической оценки, реализация оптической юстировки, сравнение потерь для случаев многомодовых и одномодовых световодов. |

| №<br>п/п | Наименование лабораторных работ / краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2        | <b>Измерение затухания оптических волокон методом обрыва</b><br>В результате выполнения работы студент получит практические навыки по освоению методик измерения затухания оптических волокон.                                                                                                                                                                                                                                         |
| 3        | <b>Измерение затухания оптических волокон методом вносимых потерь</b><br>В результате выполнения работы студент получит практические навыки по освоению методик измерения затухания оптических волокон.                                                                                                                                                                                                                                |
| 4        | <b>Измерение потерь в оптических волокнах при их изгибах</b><br>В результате выполнения работы студент получит практические навыки по изучению зависимости потерь в оптических волокнах от их изгибов и измерение этой зависимости.                                                                                                                                                                                                    |
| 5        | <b>Оптический рефлектометр во временной области (OTDR)</b><br>В результате выполнения работы студент ознакомится с принципом действия импульсного оптического рефлектометра во временной области (OTDR), приобретение навыков практической работы на рефлектометре, измерение затухания волоконно-оптического тракта, измерение потерь на отражение и определение места повреждения оптического волокна.                               |
| 6        | <b>Оптический ответвитель</b><br>В результате выполнения работы студент изучит характеристики волоконно-оптического ответвителя, приобретет навыки практического использования ответвителей.                                                                                                                                                                                                                                           |
| 7        | <b>Источники оптического излучения ВОСП</b><br>В результате выполнения работы студент получит знания о принципах работы полупроводниковых источников излучения - лазерных диодов (ЛД) и светоизлучательных диодов (СИД), экспериментальное изучение основных рабочих характеристик ЛД и СИД - Вт/А характеристик, спектра излучения и диаграммы направленности, приобретение навыков практической работы с источниками излучения ВОСП. |
| 8        | <b>Оптический мульти/демультиплексор</b><br>В результате выполнения работы студент изучит принцип действия и основных характеристик оптического мульти/демультиплексора, используемого в аппаратуре ВОСП со спектральным уплотнением каналов в диапазонах длин волн 1.33/1.55 мкм.                                                                                                                                                     |
| 9        | <b>Измерение характеристик оптического изолятора</b><br>В результате выполнения работы студент изучит принципы действия и основных характеристик оптического изолятора (оптического вентиля).                                                                                                                                                                                                                                          |
| 10       | <b>Исследование распространения света в пленочных интегрально-оптических волноводах</b><br>В результате выполнения работы студент получит знания о процессах распространения оптических мод в тонкопленочных оптических волноводах; приобретение навыков экспериментального определения постоянных распространения мод.                                                                                                                |

#### 4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

| №<br>п/п | Вид самостоятельной работы                          |
|----------|-----------------------------------------------------|
| 1        | Разработать магистральную защищенную квантовую сеть |
| 2        | Подготовка к лабораторным работам                   |
| 3        | Подготовка к промежуточной аттестации.              |
| 4        | Подготовка к текущему контролю.                     |

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

| №<br>п/п | Библиографическое описание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Место доступа                                                                                                                 |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | 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 / Б.В. Желенков; МИИТ. Каф. Вычислительные системы и сети. - М.: МИИТ, 2011. - 50 с.                                                                         | <a href="https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/03-41547.pdf">https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/03-41547.pdf</a> |
| 2        | Маршрутизация в компьютерных сетях: учеб. пособие по дисц. Сети и телекоммуникации для студ. напр. Информатика и вычислительная техника / Я. М. Голдовский, Б. В. Желенков, Н. А. Цыганова; МИИТ. Каф. Вычислительные системы и сети. - М.: РУТ(МИИТ), 2017. - 114 с. - Б. ц.                                                                                                 | <a href="https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/DC-407.pdf">https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/DC-407.pdf</a>     |
| 3        | Исследование цифровых схем в лабораторном комплексе с использованием системы NI ELVIS II: учеб. пособие по дисц. Схемотехника цифровых систем, Схемотехника памяти и аналоговых схем для студ. спец. Вычислительные машины, комплексы, системы и сети / Е. С. Богодистова, И. С. Долгов, Б. В. Желенков; МИИТ. Каф. Вычислительные системы и сети. - М.: МИИТ, 2012. - 223 с. | <a href="https://library.miit.ru/bookscatalog/upos/13-1378.pdf">https://library.miit.ru/bookscatalog/upos/13-1378.pdf</a>     |
| 4        | Маршрутизация в глобальных сетях. Протокол BGP: учеб. пособие по дисц. Сети ЭВМ и телекоммуникации для студ. 4 курса спец. Вычислительные машины, комплексы, системы и сети, напр. Информатика и вычислительная техника / Б.В. Желенков; МИИТ. Каф. Вычислительные системы и сети. - М.: МИИТ, 2011. - 183 с.                                                                 | <a href="https://library.miit.ru/miitpublishing/12-1780.pdf">https://library.miit.ru/miitpublishing/12-1780.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, серверы доступа, коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны, WI-FI роутеры, мультимедийное оборудование, доска.

Аудитория подключена к сети «Интернет».

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет в 8 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  
и квантовые коммуникации»

Б.В. Желенков

Согласовано:

Заведующий кафедрой ВСиКК

Б.В. Желенков

Председатель учебно-методической  
комиссии

Н.А. Андриянова