

# ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В АСПИРАНТУРУ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 2.2.15 – СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Вступительный экзамен в аспирантуру по специальности 2.2.15 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» проводится в устной форме с обязательным оформлением ответов на вопросы билета в письменном виде. Поступающие должны продемонстрировать знание следующих тем:

## **1. Сети и системы связи**

История развития сетей связи. Единая Сеть Электросвязи Российской Федерации. Структура телефонной сети общего пользования. Местные и междугородные сети. Коммутация каналов и коммутация пакетов. Конвергенция как концепция развития сетей связи. Сети связи следующего поколения (NGN-Next Generation Network). Протоколы TCP/IP. Протокол IPv6.

Качество обслуживания. Классы и параметры качества обслуживания. Качество восприятия. Способы обеспечения гарантированного уровня качества обслуживания: многопротокольная коммутация по метке, интегральное обслуживание, дифференцированное обслуживание.

Сети связи пятого и последующих поколений. Децентрализация сетей связи. Сети связи и цифровая экономика.

Понятие сети доступа. Широкополосный доступ. Технологии xDSL, PON. Беспроводный широкополосный доступ. Стандарты IEEE 802.11 (WiFi) и IEEE 802.16 (WiMax).

## **2. Теория телетрафика и моделирование**

Простейший (пуассоновский) поток вызовов. Система с бесконечным числом источников. Формула Эрланга. Система с конечным числом источников. Формула Энгсета. Системы с потерями и с ожиданием. Вторая формула Эрланга.

Системы с произвольным законом длительности обслуживания. Формула Полячека-Хинчина. Формула Литтла для систем с ожиданием.

Самоподобные потоки. Автокорреляция. Медленно убывающие и быстро убывающие зависимости. Параметр Херста. Оценка параметра Херста (методы R/S, Higuchi). Метод ON/OFF для генерации самоподобных потоков. Использование вейвлет-анализа для представления самоподобных потоков. Антиперсистентные потоки.

Имитационное моделирование в телекоммуникациях. Виды имитационного моделирования. Достоверность и точность результатов моделирования. Пакеты и средства имитационного моделирования: ns-2, Riverbed Modeler, Anylogic, PYTHON и их особенности.

## **3. Самоорганизующиеся сети и системы**

Концепция Интернета Вещей. Самоорганизующиеся сети. Примеры самоорганизующихся сетей (USN, VANET). Всепроницающие сенсорные сети USN.

Кластерная организация сенсорных сетей. Мобильные сенсорные сети. Протоколы сигнализации в беспроводных сенсорных сетях ZigBee и 6LoWPAN.

Искусственный интеллект в сетях связи. Концепция сетей 2030. Модели трафика для дополненной реальности. Программно-конфигурируемые сети и облачные вычисления. Сверхплотные сети. Сети с ультрамалыми задержками. Качество обслуживания и качество восприятия в сетях связи. Граничные облачные вычисления в сетях связи. Тактильный Интернет и Интернет навыков. Услуги телеприсутствия. Фрактальные размерности для планирование сверхплотных сетей.

#### **4. Инфокоммуникационные системы**

Эволюция телекоммуникаций. Цифровые и пакетные сети связи. Поколения мобильных и фиксированных сетей.

Сети связи следующего поколения (NGN). Протокол MGCP, Megaco/H.248.

Самоорганизующиеся сети (SON). Сети AdHoc и mesh.

Коммуникации M2M. Концепция Интернета вещей (IoT).

Системы управления инфокоммуникациями. NGOSS и Framework.

Модели теории телетрафика. Классификация Кендалла. Вероятностно-временные характеристики. Основные формулы.

Самоподобные потоки. Оценивание параметра Херста.

Модели самоорганизующихся систем. Мультиагентные системы.

#### **5. Фотоника и линии связи**

Тенденции развития, структурные схемы и требования к линейным трактам современных систем оптической и электрической связи. Классификация направляющих систем связи, их назначение и параметры, включая затухание и частотный диапазон. Конструктивные и эксплуатационные параметры коаксиальных, симметричных и оптических кабелей связи.

Телеграфные уравнения, их решение для однородной двухпроводной цепи в частотной области. Первичные параметры передачи, их зависимость от частоты и конструкции. Вторичные параметры, их зависимость от частоты и конструкции. Собственное, рабочее и вносимое затухание и входное сопротивление в однородных двухпроводных линиях. Особенности работы двухпроводных линиях в согласованном режиме, а также в режимах холостого хода и короткого замыкания. Расчет сигнала на выходе однородной линии с произвольной нагрузкой при входном гармоническом воздействии.

Параметры однородной двухпроводной линии во временной области. Импульсная и переходная характеристики. Расчеты формы импульсов на выходе линии при любом входном импульсном сигнале.

Описание неоднородных двухпроводных линий в частотной и временной областях. Виды и параметры неоднородностей. Попутный и обратный потоки в неоднородной линии.

Электромагнитная совместимость в многопарных электрических направляющих системах связи. Классификация взаимных влияний. Непосредственные и косвенные влияния. Регулярные и нерегулярные составляющие влияния. Нормирование взаимных влияний в направляющих системах связи. Первичные и вторичные параметры взаимных влияний, их зависимость от частоты и длины линии. Эквивалентные схемы взаимных влияний. Расчеты помех на ближнем и дальнем концах симметричной линии, входящей в

состав многопарной направляющей системы связи при непосредственном влиянии между цепями.

Способы защиты линий связи от взаимных и внешних влияний. Скрутка цепей симметричных кабелей. Скрещивание симметричных цепей воздушных и кабельных линий связи. Схемы и индексы скрещивания. Симметрирование кабельных цепей. Экранирование кабельных цепей. Реакция экрана.

Источники опасных и мешающих влияний. Нормы влияний. Расчет опасных и мешающих влияний. Меры защиты от опасных и мешающих влияний, применяемые на линиях связи. Устройство заземлений. Экранирование кабелей связи. Экранное затухание цилиндрического экрана для электрического, магнитного и электромагнитного полей, его зависимость от частоты и конструкции. Преимущества многослойных экранов. Виды коррозии. Меры защиты от коррозии, применяемые на установках сильного тока и установках связи.

Особенности описания оптического излучения в рамках геометрической, волновой и квантовой оптики. Понятия светового луча, электромагнитной волны (моды), кванта излучения (фотона). Области использования этих понятий. Описание свойств прозрачных диэлектриков. Зависимости показателя преломления, коэффициента затухания от длины волны монохроматического излучения. Законы прямолинейного распространения света в однородной среде, законы отражения и преломления света на границе двух сред. Описание процессов распространения плоской электромагнитной волны в однородном прозрачном диэлектрике.

Классификация, конструкции, параметры и области использования многомодовых оптических волокон. Профиль показателя преломления, числовая апертура, коэффициент затухания, межмодовая дисперсия, нормированная частота, количество мод. Зависимость параметров многомодовых волокон от длины волны. Ступенчатые и градиентные волокна. Волокна с усеченным степенным профилем показателя преломления. Траектории лучей, лучевые инварианты. Оптимальный профиль показателя преломления. Модовый состав излучения в маломодовых оптических волокнах.

Классификация, конструкции, параметры и области использования одномодовых оптических волокон. Стандартные волокна со ступенчатым профилем показателя преломления. Условие одномодовости, длина волны отсечки. Хроматическая и поляризационно-модовая дисперсии. Зависимость параметров одномодовых волокон от длины волны. Нелинейные явления в оптических волокнах. Фазовая самомодуляция, модуляционная неустойчивость, фазовая кроссмодуляция, четырехволновое смешение. Рассеяние Рэлея, Мандельштама-Бриллюэна и Рамана (вынужденное комбинационное рассеяние).

Классификация и номенклатура активных компонентов волоконно-оптических сетей связи. Принцип действия, конструкции и параметры источников и приемников излучения. Светоизлучающие диоды и полупроводниковые лазеры, p-i-n фотодиоды и лавинные фотодиоды. Схемы включения и расчет параметров передающих и приемных устройств. Функции и параметры трансиверов и транспондеров.

Классификация, конструкции, принцип действия и параметры полупроводниковых и волоконно-оптических усилителей. Дискретные и распределенные оптические усилители. Усилители на основе оптических волокон легированных редкоземельными элементами (EDFA). Рамановские оптические усилители.

Современные форматы модуляции и виды кодирования оптических сигналов.

Амплитудная, частотная, фазовая и поляризационная модуляции. Бинарное и многоуровневое кодирование, кодирование без возврата к нулю (NRZ) и с возвратом к нулю (RZ). Помехозащищенное кодирование с опережающей коррекцией ошибок (FEC). Представления цифровых сигналов на фазовой плоскости плоскости (сигнальные созвездия). Принципы действия, конструкции и параметры электрооптических, магнитооптических, акустооптических абсорбционных модуляторов, интерферометров Маха-Цендера.

Физические процессы при приеме цифровых оптических сигналов. Энергетический и когерентный прием оптических цифровых сигналов. Оценка качества приема цифровых сигналов с помощью коэффициента ошибок, глаз-диаграммы и Q-фактора. Сравнение энергетического и когерентного приема по обнаружительной способности и другим параметрам.

Пассивные компоненты волоконно-оптических сетей связи. Принцип действия, конструкции и параметры. Мультиплексоры спектрального уплотнения, разветвители, кроссы, аттенюаторы, соединители, изоляторы, циркуляторы.

Классификация, структурные схемы, элементы линейного тракта и параметры современных цифровых электрических и волоконно-оптических систем связи. Проектирование линейных трактов систем связи. Анализ технического задания на проектирование. Технико-экономическое обоснование выбора информационной технологии, выбора типа кабеля, способа и трассы его прокладки, а также выбора аппаратуры и мест ее размещения в усилительных и регенерационных пунктах. Расчеты длин усилительных и регенерационных участков на оптических, симметричных и коаксиальных кабелях.

Особенности проектирования оптических линейных трактов. Выбор типа и количества оптических волокон, типа оптических усилителей, терминальных мультиплексоров и мультиплексоров ввода/вывода, коммутаторов, необходимых пассивных оптических компонентов. Необходимо решить вопросы необходимости и способа компенсации дисперсии в линейном тракте. Решить вопрос о необходимости организации дистанционного питания и способа резервирования.

Организация строительных работ. Способы прокладки кабелей связи – подземная, подводная и воздушная. Механизация строительных работ. Использование кабелеукладчиков, горизонтально направленное бурение. Монтаж муфт. Особенности прокладки и монтажа оптических кабелей.

Организация работ по эксплуатации линейных трактов. Надежность линейно-кабельных сооружений. Основные причины повреждений кабелей связи. Организация ремонтно-восстановительных работ. Состав и периодичность профилактических измерений. Аварийные измерения. Определение характера и места повреждения. Методы и приборы для поиска трасс кабелей. Методы и приборы для измерений электрических кабельных цепей на постоянном, переменном и импульсном токе. Измерение сопротивлений шлейфа, изоляции и асимметрии. Измерение емкости. Измерение расстояний до мест обрыва, короткого замыкания, сосредоточенной омической асимметрии, разбитости пар, понижения сопротивления изоляции.

Методы и приборы для оптических измерений в проходящем и рассеянном свете. Измерение мощности излучения, вносимого затухания, распределения коэффициента затухания вдоль линейного тракта, потерь в соединениях волокон, энергетического запаса, динамического диапазона.

## ИСТОЧНИКИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

### Литература к разделу 1, 2, 3.

1. Б.С.Гольдштейн, Н.А.Соколов, Г.Г.Яновский. Сети связи. Санкт-Петербург, БХВ-Петербург, 2010.
2. А.Е.Кучерявый, А.В.Прокопьев, Е.А.Кучерявый. Самоорганизующиеся сети. Санкт-Петербург, Любавич, 2011.
3. Н.А.Соколов. Задачи планирования сетей электросвязи. Санкт-Петербург, Техника связи, 2012.
4. А.Е.Кучерявый, А.И.Парамонов, Е.А.Кучерявый. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчета. Москва, ФГУП ЦНИИС, 2008.
5. А.Е.Рыжков, М.А.Сиверс, В.О.Воробьев, А.С.Гусаров, А.С.Слышков, Р.В.Шуныков. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMax. Санкт-Петербург, Линк, 2012.
6. Б.С.Гольдштейн, А.Е.Кучерявый. Сети связи пост-NGN. Санкт-Петербург, БХВ-Петербург, 2012.
7. О.И.Шелухин, А.М.Тенякшев, А.В.Осин. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Москва, Радиотехника, 2003.
8. Э.Таненбаум. Компьютерные сети. 4-е издание. СПб, Питер, 2003.
9. Л.Клейнрок. Теория массового обслуживания. Учебник. М., Машиностроение, 1979.
10. А.М.Галкин, Е.А.Кучерявый, Д.А.Молчанов. Пакет моделирования NS-2. Учебное пособие. СПб ГУТ, 2007.
11. Е.А.Кучерявый. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. Наука и Техника, СПб, 2004.
12. Парамонов А.И., Модели потоков трафика для сетей M2M / Парамонов А.И. // Электросвязь. 2014. № 4. С. 11-16.
13. Ateya A., Development of intelligent core network for tactile internet and future smart systems / Ateya A., Muthanna A., Gudkova I., Abuarqoub A., Vybornova A., Koucheryavy A. // Journal of Sensor and Actuator Networks. 2018. Т. 7. № 1.
14. Маколкина, М.А. Метод выгрузки трафика приложений дополненной реальности в многоуровневой системе граничных вычислений / М.А. Маколкина, А.А. Атея, А.С.А. Мутханна, А.Е. Кучерявый А.Е. // Электросвязь. – 2019. – № 6. – С. 36-42.
15. А.Е.Кучерявый. Интернет Вещей. Электросвязь, №1, 2014.
16. А.Е.Кучерявый, А.В.Прокопьев, Е.А.Кучерявый. Самоорганизующиеся сети. СПб, “Любавич”, 2011.
17. Recommendation Y.2060 “Overview of Internet of Things”. ITU-T, Geneva. June 2012.
18. Кучерявый А.Е. Интернет навыков. / Кучерявый А.Е., Кучерявый Е.А., Киричек Р.В., Бородин А.С., Маколкина М.А., Выборнова А.И., Фам В.Д., Ястребова А.А. // Электросвязь. 2018. № 1. С. 29-32.
19. Тонких Е.В. Планирование структуры сети интернета вещей с использованием фракталов // Электросвязь. 2021. № 4. С. 55-62.

#### Литература к разделу 4.

1. Б.С.Гольдштейн, А.Е.Кучерявый. Сети связи пост-NGN. БХВ, С.-Петербург, 2013.
2. Б.С. Гольдштейн, Н.А. Соколов, Г.Г. Яновский, Сети связи. Учебник для ВУЗов. ВН С. Петербург, 2014.
3. Л. Клейнрок. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979.
4. О.И. Шелухин, А.В.Осин, С.М.Смольский. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. М. Физматлит, 2008, 362 с.

#### Литература к разделу 5.

1. Андреев, В. А. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 — Теория передачи и влияния [Электронный ресурс] / В. А. Андреев, Э. Л. Портнов, Л. Н. Кочановский. - М. : Горячая линия–Телеком, 2011. - 424 с. : ил. - ISBN 978-5-9912-0092-9 : Б. ц.
2. Андреев, В. А. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В 2-х томах. Том 2 Проектирование, строительство и техническая эксплуатация [Электронный ресурс] / В. А. Андреев, А. В. Бурдин, Л. Н. Кочановский. - М. : Горячая линия–Телеком, 2010. - 424 с. : ил. - ISBN 978-5-9912-0141-4 : Б. ц.
3. Фокин, В. Г. Когерентные оптические сети [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. Г. Фокин. - Санкт-Петербург : Лань, 2016. - 440 с. - ISBN 978-5-8114-2105-3 : Б. ц. Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки.
4. Листвин, В. Н. DWDM-системы [Текст] : научное издание / В. Н. Листвин, В. Н. Трещиков. - 2-е изд. - М. : Техносфера, 2015. - 278 с. : ил. - Библиогр.: с. 273-278. - ISBN 978-5-94836-407-0 : 300.00 р.
5. Волоконно-оптическая техника : современное состояние и новые перспективы [Текст] : [сб. ст.] / С. А. Дмитриев [и др.] ; ред.: С. А. Дмитриев, Н. Н. Слепов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Техносфера, 2010. - 607 с. : ил. - Библиогр. в конце глав. - ISBN 978-5-94836-245-8 (в пер.)
6. Глаголев, С. Ф. Физические основы оптических направляющих систем : учеб. пособие / С. Ф. Глаголев, В. С. Иванов, Л. Н. Кочановский; Федер. агентство связи, ГОУ ВПО "СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2008. - 160 с.
7. Оптические волокна в телекоммуникациях [Электронный ресурс] : учебное пособие / М. С. Былина, С. Ф. Глаголев ; рец.: А. К. Канаев, И. В. Гришин ; Федеральное агентство связи, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2019. - 108 с. : ил. - 580.32 р.
8. Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации направляющих систем электросвязи [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б. К. Никитин, Л. Н. Кочановский ; рец.: Е. Б. Стогов, Т. И. Васильева ; Федеральное агентство связи, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникации им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2010. - 192 с. : ил. - Библиогр : с. 187-189. - ISBN 978-5-89160-064-5 : 187.09 р.
9. Былина М.С., Глаголев С.Ф., Кочановский Л.Н., Пискунов В.В. Измерение параметров волоконно-оптических линейных трактов. Учебное пособие. СПбГУТ. СПб, 2002.
10. Складов, О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи : учеб. пособие / О. К. Складов. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2010. - 265 с.
11. Семенов, А. Б. Структурированные кабельные системы для центров обработки

данных [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Б. Семенов. - Москва : ДМК Пресс, 2014. - 232 с. - ISBN 978-5-97060-120-4 : Б. ц. Книга из коллекции ДМК Пресс - Инженерно-технические науки

12. Семенов, А. Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС [Электронный ресурс] / А. Б. Семенов. - Москва : ДМК Пресс, 2007. - 632 с. : ил. - ISBN 5-98453-025-2 : Б. ц.

Программу составили  
А.Е. Кучерявый, Б.С. Гольдштейн, С.Ф. Глаголев

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по научной работе

А.В. Шестаков

Начальник УНРПНК

А.А. Нестеров