МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Ордена Трудового Красного Знамени
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

«УТВЕРЖДЕНО»
Проректор по научной работе
Ю.Л. Леохин
«21» декабря 2022 г.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

(БАЗОВАЯ ЧАСТЬ)

2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Москва, 2022

Программа составлена на основе паспорта научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций, согласно Номенклатуре научных специальностей, утвержденной Приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 24 февраля 2021 г. № 118.

Основной материал программы формирует общую теоретическую базу. Программа ориентирована также на различные направления подготовки диссертационной работы и изучается в объеме необходимом для выбранной научно-технической задачи.

В разработке программы приняли участие:
зав. каф. ОТС, д.т.н., проф. Аджемов А.С.;
зав. каф. МТС, к.т.н., доцент Шишова Н.А.;
зав. каф. НТС, к.т.н., доцент Колесников О.В.;
зав. каф. МСиИИ, д.т.н., доцент Строганова Е.П.

Разработчик программы:
Зав. каф. ССиСК _____ д.т.н., проф. Степанов С.Н.

Программа утверждена на совете факультета «Сети и системы связи», протокол от «20» 10 2022 г. № 3.

Декан факультета
«Сети и системы связи» _____ к.т.н., доцент Миронов Ю.Б.

1. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

1. Архитектура систем и сетей телекоммуникаций

Системы и сети телекоммуникаций. Наземные средства систем и сетей телекоммуникаций. Проводные сети. Радиорелейные линии связи. Системы сотовой связи. Транкинговые системы связи. Специальные системы связи. Системы спутниковой связи. Особенности организации спутниковых сетей на основе геостационарных и низкоорбитальных спутников связи. Сетевые технологии: архитектура и элементы телекоммуникационных сетей. Архитектура взаимодействия открытых систем. Модель взаимодействия открытых систем (ВОС). Элементы модели ВОС: функциональный уровень, услуга, служба, соединение, блок данных, протокол связи. Уровни модели и функции, реализуемые на каждом из её уровней. Определение протокола связи и его назначение. Понятие протокольного стека и профиля протоколов. Способы спецификации и верификации телекоммуникационных протоколов. Стек протоколов TCP/IP. Протоколы физического уровня. Протоколы уровня звена данных. Протоколы сетевого уровня. Протоколы транспортного уровня. Особенности протоколов для локальных и глобальных сетей. Методы коммутации в сетях телекоммуникаций.

2. Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем

Роль и место инфокоммуникационных систем и сетей (ИКСиС) в формировании инфокоммуникационной структуры общества. ИКСиС как большие и сложные системы. Понятия больших и сложных систем (БСС). Основные проблемы создания БСС. Методы передачи сигналов по различным средам передачи и каналам связи. Основные модели и характеристики информационного трафика. Сетевые топологии ИКСиС. Показатели функционирования (ПФ) ИКСиС. Расчет и обеспечение ПФ ИКСиС. Методы

управления характеристиками и параметрами ИКСиС. Применение модели взаимодействия открытых систем в ИКСиС. Интерфейсы и протоколы взаимодействия, применяемые в современных ИКСиС. Перспективы развития ИКСиС.

3. Сети электросвязи

Общие принципы построения сетей электросвязи. Состав и назначение сетей телефонной связи, сетей передачи данных, сетей телевизионного вещания. Информационно-вычислительные сети. Сети ЭВМ (локальные LAN, региональные MAN, глобальные WAN). Единая сеть электросвязи РФ (ЕСЭ РФ). Классификация сетей ЕСЭ РФ, принципы построения, характеристики. Устойчивость сетей электросвязи. Сети передачи данных (IP-сети). Показатели качества обслуживания (задержка, вариация задержки, потери пакетов). Нормы на показатели качества обслуживания для разных услуг. Интернет. Коммутаторы Ethernet. Технология VLAN. Ethernet операторского класса (Carrier Ethernet). Адресация в IP-сетях. Маршрутизаторы. Межсетевые экраны. Таблица маршрутизации. Определение оптимального маршрута. Динамическая маршрутизация в IP-сетях. Алгоритмы и протоколы маршрутизации (RIP, OSPF, BGP). Автономные системы. Виртуальные частные сети VPN. Принципы мультипротокольной коммутации по меткам MPLS. Стек меток. Принципы маршрутизации и коммутации по меткам в сети MPLS. Основы концепции NGN. Архитектура и уровни NGN. Услуги Triple Play. Протоколы сетей NGN (SIP,MEGACO,DIAMETER). Платформы IMS и медиашлюзы. Классификация шлюзов. Пограничные контроллеры сессий SBC. IP-телефония (VoIP). Протокол RTP. IP-телевидение (IP-TV). Услуги OTT. Проводные и беспроводные сети доступа (xDSL, FTTx, xPON, WiFi, WiMAX). Сотовые сети связи различных стандартов. Концепция сетей 5G. Методы анализа, синтеза и оптимизации структуры мультисервисных сетей на базе концепций NGN/IMS. Разделение сети на срезы (slicing).

Основы Интернета вещей IoT. Технологии и протоколы межмашинных коммуникаций M2M. Сенсорные сети. Когнитивные системы и сети. Программно-конфигурируемые сети ПКС(SDN). Виртуализация сетевых элементов NFV. Программно-управляемое радио SDR. Облачные сервисы (IaaS,PaaS,SWaaS). Будущие сети (Future Networks).

4. Направляющие телекоммуникационные среды

Современная оптическая связь. Основы электродинамики оптических линий связи. Теория направляющих оптических систем. Конструкции и характеристики оптических линий связи. Влияние внешних воздействий на оптические линии связи и меры защиты. Транспондеры и мультиплексоры Оптические транспортные сети (OTN).

5. Цифровые телекоммуникационные системы

Цифровые методы модуляции и понятие сигнально – кодовой конструкции. Виды амплитудной, частотной и фазовой модуляции (манипуляции). Комбинированные виды модуляции (манипуляции). Формирование спектра выходного сигнала при цифровых методах модуляции. Проблема ограничения спектра выходного сигнала, межсимвольная интерференция при ограничении спектра. Фильтр Найквиста. Цифровая фильтрация. Цифровые методы генерации сигналов. Генератор прямого цифрового синтеза (DDS). Синхронизация в цифровых системах передачи. Петля Костаса и схема Гарднера. Комплексный аналитический сигнал, преобразование Гильберта, квадратура, огибающая. Преобразования сигналов, сдвиг по частоте, децимация, интерполяция, полифазные фильтры. Спектральное и временное представление цифрового сигнала от первичных источников. Дискретное преобразование Фурье и связь между спектральными и временными характеристиками. Спутниковые и подвижные радиосистемы. Принципы построения спутниковых систем связи, виды орбит движения космических аппаратов и их характеристики.

Эффект Доплера и его компенсация. Линейные коды. Теория обратной связи. Принципы построения волоконно – оптических систем передачи (ВОСП). Классификация ВОСП. Пассивные компоненты. Активные компоненты. Технологии спектрального уплотнения: ВОСП, CWDM, DWDM. Нелинейные эффекты в ВОСП. Четырехволновое смешение. Фазовая самомодуляция. Фазовая кроссмодуляция. Пространственное уплотнение информации в ВОСП. Многосердцевинные волокна. Маломодовые волокна. Модовые мультимплексоры и демультиплексоры. Нормирование параметров ВОСП. Измерения и расчет бюджета ВОСП. Модели, методы и средства сбора, хранения, передачи и обработки информации в интеллектуальных системах. Основные принципы структурированных кабельных систем (СКС). Параметры оценки электрических характеристик симметричной цепи в СКС

6. *Моделирование сетей и систем связи*

Цели и задачи моделирования сетей и систем связи. Объект исследования. Телекоммуникационный ресурс. Пропускная способность. Предложенный трафик. Качество обслуживания. Функциональная модель. Математическая модель. Экспоненциальное распределение и пуассоновский поток. Марковские модели. Система уравнений равновесия и методы ее решения. Свойство PASTA. Формула Литтла. Модели обслуживания трафика реального времени. Моносервисные модели Эрланга и Энгсета. Модели с резервированием и с групповым поступлением заявок. Калькуляторы пропускной способности. Моносервисные модели передачи данных с ожиданием. Классификация моделей Кендалла. Модель Эрланга с ожиданием с бесконечной и конечной очередью. Формула Поллачека-Хинчина. Моносервисные модели передачи эластичного трафика данных без ограничения и с ограничением доступа. Мультисервисные модели передачи трафика реального времени. Мультисервисная модель Эрланга. Мультисервисные модели узлов с ограничением доступа и резервированием.

Решение задач планирования минимально необходимого объема ресурса передачи информации мультисервисных узлов доступа при заданных нагрузке и показателях QoS. Мультисервисные сети передачи трафика реального времени. Открытые и замкнутые сети передачи данных. Методы имитационного моделирования сетей связи.

7. Статистическая теория связи

Классификация сообщений, сигналов и помех, энергетические спектры, свойства корреляционных функций, теорема Винера - Хинчина. Гауссовские и марковские случайные процессы. Функциональные пространства и их базисы. Полные ортонормальные системы (гармонические функции Радемахера – Уолша, Лагера, Эрмита). Теорема Котельникова (отсчётов). Цифровая передача непрерывных сообщений, импульсно-кодовая модуляция и кодирование с предсказанием. Основы теории информации, энтропия источника, скорость кодирования источника, пропускная способность канала связи. Избыточность источника сообщения и причины её появления. Классификация методов уменьшения избыточности, уменьшение статистической и семантической избыточности. Теоремы К. Шеннона о кодировании источника. Конструктивные методы кодирования источников, метод укрупнения алфавита, код Хаффмана, неравенство Крафта. Модуляция и детектирование сигналов. Спектры модулированных сигналов. Основные виды модуляции, применяемые в каналах систем телекоммуникаций. Классификация помехоустойчивых кодов. Линейные коды, циклические коды, сверточные коды, принципы их построения и декодирования. Понятия об итерированных, каскадных и турбо кодах. Модели непрерывных и дискретных каналов связи. Синтез оптимальных приёмников. Критерии качества приёма сообщений. Согласованные фильтры для основных типов сигналов. Приём дискретных сигналов в каналах с межсимвольной интерференцией. Оптимальная линейная

фильтрация непрерывных сигналов, фильтр Колмогорова – Винера. Фильтрация Калмана.

8. Защита информации и обеспечение информационной безопасности в сетях, системах и устройствах телекоммуникаций

Количество информации, энтропия сообщения, неопределенность сообщения, частота языка, избыточность языка, энтропия криптосистемы, расстояние однозначности. Простые числа. Факторизация чисел. Алгоритм Евклида. Действия в конечных полях. Сложение, вычитание, умножение. Вычисление обратных значений. Формула Эйлера. Поля Галуа. Простые и расширенные поля Галуа. Вычисления в полях Галуа, реализация деления в расширенных полях Галуа. Основы криптологии. Криптография, криптоанализ. Контроль доступа, аутентификация, неотрекаемость, целостность информации. Шифрование и дешифрование. Ключи. Механизмы криптозащиты информации с симметричными ключами и их свойства. Сеть Файстеля, SP сеть. Блочные и потоковые алгоритмы криптозащиты информации и их свойства. Режимы шифрования блочных алгоритмов. Режим прямого шифрования. Шифрование со сцеплением с блоками зашифрованного сообщения. Режим шифрования с посимвольной обратной связью от зашифрованного сообщения. Режим шифрования с внутренней обратной связью. Генерация ключевых последовательностей. Генераторы М-последовательностей, конгруэнтные генераторы, их свойства и реализация. Распространение ключей в симметричных криптосистемах. Стандарт формирования ключа ANSI X9.17. Алгоритм Диффи - Хеллмана и его свойства. Двухключевые алгоритмы криптозащиты информации и их свойства. Электронная подпись и ее реализация. Виды криптоатак и злоумышленных действий абонентов. Уязвимость информации на различных участках сети связи и особенности применения средств защиты информации от несанкционированного доступа.

9. Измерения, испытания, мониторинг в телекоммуникационных системах. Измерительные системы

Основные виды измерений в аналоговых и цифровых системах связи. Испытания, контроль, управление, мониторинг в системах связи. Автоматизация измерений. Измерительные системы, их совмещение с системами связи.

10. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

10.1. Основная литература:

1. Андреев В.А., Портнов Э.Л. и др. Направляющие системы электросвязи: теория передачи и влияния, проектирование, строительство и техническая эксплуатация. Учебник для вузов. 8-е изд. - М.: Горячая линия - Телеком, 2018. - 396 с.
2. Портнов Э.Л. Волоконная оптика: параметры передачи и влияния. Учебное пособие для вузов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2019. - 344 с.
3. Андреев В.А., Бурдин А.В., Портнов Э.Л., Кочановский Л.Н., Попов В.Б. Направляющие системы электросвязи Часть 2 под редакцией Андреева В.А. Проектирование, строительство и техническая эксплуатация: Учебник для вузов М.Горячая линия-Телеком 2010.
4. Гольдштейн Б.С. Инфокоммуникационные сети и системы. СПб.: БХВ-Петербург, 2019.–208 с.
5. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. СПб.: БХВ-Петербург, 2010.–400с.
6. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Юбилейное издание. Учебник для ВУЗов.6-е изд.–СПб.: Питер, 2021.–1008 с.
7. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: Эко-Трендз, 2010.– 392с.

8. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения / Серия «Теория и практика инфокоммуникаций». – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 868 с.
9. Кузнецов Н.А., Степанов С.Н., Степанов М.С. Моделирование сетей и систем связи. Учебное пособие. Москва, МФТИ, 2019. – 272 с.
10. Деарт В.Ю. Мультисервисные сети связи. Протоколы и системы управления сеансами (Softswitch/IMS).-М.:Брикс-М, 2011-198с.
11. Деарт В.Ю. Мультисервисные сети связи. Транспортные сети и сети доступа.–М.: Брис-М, 2014- 189с.
12. Пшеничников А.П. Теория телетрафика. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 212 с.: ил.
13. Пшеничников А.П., Росляков А.В. Будущие сети. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2022. – 256 с.: ил.
14. Васин Н.Н. Технологии пакетной коммутации. Издательство «Лань». 2019. 281 с.
15. Смелянский Р.Л., Антоненко В.А. Концепции программного управления и виртуализации сетевых сервисов в современных сетях передачи данных: Учебное пособие. Москва: КУРС, 2020. – 160 с.
16. Аджемов А.С., Санников В.Г. Общая теория связи. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 623 с.: ил
17. Оптические телекоммуникационные системы. Учебник для вузов/ В.Н.Гордиенко, В.В. Крухмалев, А.Д.Моченов, Р.М.Шарафутдинов. Под ред. проф. В.Н.Гордиенко. – М: Горячая линия–Телеком, 2017. – 368 с.: ил.
18. Алексеев Е.Б., Гордиенко В.Н., Крухмалев В.В. и др. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей : учеб.пособие / Под ред. В.Н. Гордиенко и М.С. Тверецкого. - М.: Горячая линия – Телеком, 2017. - 392 с.: ил.

19. Фокин В.Г., Ибрагимов Р.З. Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи. Учебное пособие для вузов. - М.: Горячая линия-Телеком, 2017.-180 с.
20. Шувалов В.П., Фокин В.Г. Оптические сети доступа большого радиуса действия - М.: Горячая линия-Телеком, 2019.-188с.
21. Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи: Учебное пособие.-4-е изд., стер. - СПб.: Издательство «Лань», 2018.-268с.
22. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. - 2-е изд. - М.: ООО «Бином Пресс», 2006. - 565 с.: ил.
23. Хромой Б.П. Метрология, стандартизация и сертификация. М.: Горячая линия-Телеком. 2018. – 432 с.

10.2. Дополнительная литература:

1. Маликова Е.Е., Пшеничников А.П. Расчёт объёма оборудования мультисервисных сетей связи. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2017.–90 с.
2. Фокин В.Г. Когерентные оптические сети: Учебное пособие. - 4-е изд., стер. - СПб.: Издательство «Лань», 2016.-440 с.
3. Шаврин С.С. Реализация базовых операций защиты информации на сигнальных процессорах (часть 2): Учебное пособие / МТУСИ. – М., 2016 – 42 с. ЭБС МТУСИ.
4. Минакова, О. В. Надежность информационных систем: учебник / О. В. Минакова. - Саратов: Вузовское образование, 2020. - 283 с.
5. Шубинский И.Б. Надежные отказоустойчивые информационные системы. Методы синтеза. – Ульяновск: Обл. типография «Печатный двор», 2016. 544 с.
6. Замятина, О.М. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. Моделирование сетей: учебное пособие для магистратуры / О.М. Замятина. - Москва: Издательство Юрайт, 2019. 159 с.

7. Семенов А.Б., Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Основы проектирования, монтажа и тестирования структурированных кабельных систем. — М.: Издательство Научный консультант, 2019. —232 с.
8. Листвин В.Г., Трещиков В.Н. DWDM-системы – М.: Техносфера, 2017 г. – 352 с.
9. Шарангович С.Н. Многоволновые оптические системы связи: Учебное пособие. - Спб.: Издательство «Лань», 2019. – 120 с. ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
10. Варданян В.А. DWDM-SCM-PON-сети: монография / В.А. Варданян.- Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 304 с. ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
11. Хромой Б.П. Метрология и измерения в телекоммуникационных системах (Том 2). – М.: ИРИАС. 2008. – 543 с.