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»



УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по научной работе
_____Ю.Л. Леохин
"12" апреля 2023 г.

ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ
К СДАЧЕ КАНДИДАТСКОГО МИНИМУМА
по научной специальности
2.2.15. СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Включает в себя дисциплины:

- **Современные сетевые телекоммуникационные технологии**
- **Моделирование сетей и систем связи**

Отрасль науки: **технические науки**

Москва, 2023

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Современные сетевые телекоммуникационные технологии

Рабочая программа дисциплины «Современные сетевые телекоммуникационные технологии» составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов, утвержденными приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951.

Разработчик программы:



доцент, к.т.н. В.Ю. Деарт

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры СС и СК

Протокол №_____ от «___»_____ 20__г.

Заведующий кафедрой _____ / ССиСК Синельников С.Н. /

(сокращенное наименование кафедры, *подпись, инициалы и фамилия заведующего)*

«__» _____ 20___г.

Рабочая программа хранится на кафедре СС и СК и в отделе аспирантуры.

1. Цели освоения дисциплины

Целью и задачами преподавания дисциплины является изучение новых технологий, на базе которых создаются современные сети, как фиксированные, так мобильные сети (4G, 5G, 6G). Знание современных сетевых технологий позволит аспирантам данного направления, не только квалифицированно исследовать и анализировать варианты построения существующих телекоммуникационных сетей, но и формулировать новые научно-исследовательские задачи по повышению их производительности и улучшению качества обслуживания. Углубленные знания сетевых технологий и умение анализировать и решать задачи сетевого планирования являются обязательной функцией современного специалиста в области телекоммуникаций.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Дисциплина «Современные сетевые телекоммуникационные технологии» (ССТТ) включена в образовательный блок дисциплин учебного плана. Дисциплина «ССТТ» реализуется в соответствии с требованиями ФГТ, ОП и Учебного плана по научной специальности 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Необходимыми начальными знаниями, которые требуются для качественного освоения данной дисциплины являются:

- базовые знания по принципам построения телекоммуникационных сетей;
- знание основных характеристик передающих сред (оптических и радио);
- знание основ межсетевого взаимодействия (IP – технологий).

Рабочая программа дисциплины «ССТТ» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине «Современные сетевые телекоммуникационные технологии»

В результате изучения дисциплины «ССТТ» аспирант должен:
Знать современные сетевые телекоммуникационные технологии.
Уметь анализировать современные телекоммуникационные сети.
Владеть навыками применения сетевых технологий для решения исследовательских задач и постановки научных экспериментов.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов). Процесс изучения дисциплины реализуется при очной форме обучения в 3 семестре. Промежуточная аттестация предусматривает экзамен в 3-ем семестре.

4.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач. ед. (108 часов), их распределение по видам работ, семестрам представлено в таблице 1.

Таблица 1

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Виды учебной работы	Трудоемкость (часы)		3-ий семестр (указание часов по семестрам)
Аудиторные занятия (всего)	54		54
В том числе:			
Лекции	36		36
Практические занятия	18		18
Самостоятельная работа (всего)	18		18
Формы аттестации по дисциплине (зачет, экзамен)			Экзамен 36
Общая трудоемкость дисциплины	Часы 108	ЗЕТ 3	108

4.2 Содержание дисциплины

Таблица 2

Тематический план учебной дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплин (укрупнённо)	**Всего**	**Аудиторная работа**			**Внеаудиторная работа СР**
		Л	**ПЗ/С**		
Раздел 1 Принципы построения современных телекоммуникационых сетей (смена поколений)	8	4	2		2
Раздел 2 Технология транспортного уровня Metro/Carrier Ethernet	16	8	4		4
Раздел 3 Транспортные сети IP/MPLS	16	8	4		4
Раздел 4 Программно-конфигурируемые сети (SDN)	16	8	4		4
Раздел 5 Виртуализация сетевых элементов (NFV)	16	8	4		4
Всего за 4-ый семестр	72	36	18		18
Экзамен (при наличии)	36				
Итого по дисциплине	**108**				

4.3 Лекции /практические/ занятия

Таблица 3

Содержание лекций /практических занятий

№ п/п	Название раздела, темы	№ и название лекций/ лабораторных/ практических/ семинарских занятий	Формируемые компетенции	Кол-во часов
1.	**Раздел 1. Принципы построения современных телекоммуника -ционых сетей (смена поколений)**			
	Тема 1. Основы построения современных телекоммуникационных сетей (смена поколений)	Лекция №1 Смена парадигмы в телекоммуникационных сетях	Знание принципов построения телекоммуникационных сетей и смены поколений	4
		Практическая работа №1. Анализ цикла зрелости прорывных технологий (Gartner Hype Cycle) в области телекоммуникаций	Умение выбирать наиболее перспективные сетевые технологии	2
2.	**Раздел 2. Технология транспортного уровня Metro/Carrier Ethernet**			
	Тема 2. Технология Metro Ethernet	Лекция №2. Технология Q-in-Q	Знание технологии Q-in-Q и ее использование в транспортных сетях	4
		Практическая работа №2. Распределение сервисных меток (S-VLAN) на сети провайдера	Владение методом организации городских сетей доступа	4
		Лекция №3. Технология MAC-in-MAC. Сервисы сетей Carrier Ethernet	Знание методов построения и защиты сетей провайдеров	4
3.	**Раздел 3. Транспортные сети IP/MPLS**			
	Тема 3. Маршрутизация в IP-сетях	Лекция №4. Методы динамической маршрутизации RIPv2, OSPF, BGP	Знание методов динамической маршрутизации.	4.
		Практическая работа №3.Построение маршрутных таблиц протоколом OSPF	Владение навыками построения и анализа маршрутных таблиц	2
	Тема 4. Технология MPLS	Лекция №5. Построение маршрута по меткам LSP	Знание технологии MPLS и ее применение для построения сетей	4
		Практическая работа №4. Распределение меток протоколом LDP	Умение верифицировать процесс распределения меток	2
4.	**Раздел 4. Программно-конфигурируемые сети (SDN)**			
	Тема 5. Определение программно-конфигуриру	Лекция №6.Основные принципы программно-конфигурируемых сетей ПКС	Знание основ построения ПКС	4

№ п/п	Название раздела, темы	№ и название лекций/ лабораторных/ практических/ семинарских занятий	Формируемые компетенции	Кол-во часов
	емых сетей			
		Практическая работа №5. Архитектура ПКС	Умение анализировать архитектуру ПКС	2
	Тема 6. Реализация ПКС на базе OpenFlow	Лекция №7. Протокол OpenFlow	Знание пинципов работы протокола OpenFlow	4
		Практическая работа №6. Построение потоковых таблиц в коммутаторе OpenFlow Switch	Владение навыками создавать и анализировать потоковые таблицы	2
5.	**Раздел 5. Виртуализация сетевых элементов (NFV)**			
	Тема 7. Концепция виртуализации сетевых устройств	Лекция №8. Замена аппаратных сетевых устройств на виртуальные машины	Знание принципов виртуализации сетевых устройств	4
		Практическая работа №7. Архитектура NFV	Умение анализировать архитектуру NFV	2
		Лекция №9. Назначение основных компонентов NFV (Infrastucture, VNF, Manager)	Умение выделять основные компоненты NFV	4

5. Фонд оценочных средств

5.1. Контрольные вопросы и задания

1. Смена парадигмы в телекоммуникациях. Жизненные циклы технологий.
2. Концепция MCC/NGN.
3. Отличия концепции NGN от FGN.
4. Методы построения виртуальных сетей VLAN
5. Технология Metro/Carrier/Ethernet
6. Механизм пересылки кадров в коммутаторах провайдерского класса
7. Сервисы сетей Metro/Carrier/Ethernet
8. Качество обслуживания в сетях Metro/Carrier/Ethernet
9. Технология IP (формат пакета, адресация)
10. Протоколы сетевого уровня: ARP, RARP, ICMP
11. Методы маршрутизации в IP-сетях (классификация)
12. Протокол маршрутизации RIP
13. Протокол маршрутизации OSPF
14. 16. Протокол маршрутизации BGP
15. 17. Передача мультисервисного трафика по стекам TCP/IP и UDP/IP
16. Каковы основные компоненты SDN?
17. Что связывает между собой уровень Control Plane и Data Plane в концепции SDN?
18. В какой сети, традиционной или SDN, проще внедрить ваш собственный протокол маршрутизации и почему?

19. На каком интерфейсе SDN контроллера может быть использован Restful API?
20. Какой тип SDN создает новую виртуальную топологию сети?
21. Верно ли, что туннели между сетевыми коммутаторами являются частью схемы Overlay решения?
22. Является ли SD-WAN решением SDN для ЦОД?
23. Назовите три основных блока структуры ETSI, ответственных за управление и оркестровку в NFV.
24. Является ли управление жизненным циклом виртуальной машины частью NFVO?
25. Какова роль VNFM в рамках ETSI?
26. Какие модули могут удалить или дать задание на удаление VNF?
27. Какие компоненты работают с репозиториями MANO?

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1 Основная литература

1. Васин Н.Н., Технологии пакетной коммутации. Учебник для ВУЗов. – Самара: ПГУТИ, 2017.

2. Р.Л. Смелянский, В.А. Антоненко. Концепции программного управления и виртуализации сетевых сервисов в современных сетях передачи данных: Учебное пособие. -Москва: КУРС, 2020.

6.2 Дополнительная литература

1. Деарт В.Ю. Мультисервисные сети связи. Транспортные сети и сети доступа. – М.: Брис-М, 2015.

6.3 Периодические издания

1. T-COMM журнал http://media-publisher.ru
2. Журнал Электросвязь https://elsv.ru/?ysclid=l4twbm4fyt645895672

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Нормативно – правовые документы Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации – www. minsvyaz.ru.
2. Рекомендации Международного союза электросвязи – ITU-T – International Telecommunication Union – Telecommunication standardization sector – Сектор стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи –МСЭ-Т - http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/ITU-T/ITU-T_Rec_List_A-Z_ANO_E.htm.
3. Рекомендации Европейского института стандартизации телекоммуникаций – ETSI - European Telecommunications Standards Institute - www.etsi.org.

4. Документы инженерной рабочей группы Интернет – RFC IETF – Request For Comment - Internet Engineering Task Force - rfc.com.ru

8. Ресурсное обеспечение.

Кафедра ССиСК располагает кадровыми ресурсами, гарантирующими качество подготовки аспиранта по специальности 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций в соответствии с ФГТ.

9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1.Учебная аудитория для проведения лекционных занятий, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: наборами демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочей программе дисциплины.

2. Учебная аудитория для проведения практических и лабораторных занятий, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: наборами демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочей программе дисциплины, оснащенная компьютерной техникой.

10. Методические рекомендации студентам по освоению дисциплины

В процессе изучения дисциплины предусмотрены следующие формы контроля по овладению компетенциями: текущий, промежуточный контроль, контроль самостоятельной работы студентов.
Текущий контроль осуществляется в течение семестра в виде устного опроса студентов на практических занятиях.
Итоговый контроль осуществляется в форме экзамена в конце семестра.
Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется в течение всего семестра. Преподаватель самостоятельно определяет формы контроля самостоятельной работы студентов в зависимости от содержания разделов и тем, выносимых на самостоятельное изучение. Такими формами могут являться: тестирование, презентации, контрольные работы (для студентов ЗФО) и т.д. Результаты контроля самостоятельной работы студентов учитываются при осуществлении промежуточного контроля по дисциплине.
Самостоятельная работа является неотъемлемой частью обучения.
На самостоятельное изучение выносятся задания, направленные на:
- работу с электронными информационными и образовательными ресурсами;
- овладение и закрепление основной терминологии по направлению;

- работу со специальной литературой как способом приобщения к последним мировым научно-техническим достижениям в профессиональной сфере;
- овладение основными приемами составления аннотаций и написания рефератов, подготовки презентаций и выступлений.

Самостоятельная работа может быть аудиторной (выполнение отдельных заданий на занятиях) и внеаудиторной.

Для выполнения самостоятельной работы используются:

1. Учебники и учебные пособия.
2. Профильные периодические издания.
3. Электронные ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

Самостоятельная работа студента по дисциплине включает:

- проработку лекционного материала, а также материала, изучаемого на практических занятиях;
- подготовку к практическим занятиям;
- подготовку к экзамену.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование сетей и систем связи

Рабочая программа дисциплины «Моделирование сетей и систем связи» составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов, утвержденными приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951.

Разработчик программы:

Зав. кафедрой ССиСК
д.т.н., профессор _____С.Н.Степанов

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры СС и СК

Протокол №_____ от «___»_____ 20__г.

Заведующий кафедрой ___, _____ССиСК /С.Н.Степанов/
(сокращенное наименование кафедры, *подпись, инициалы и фамилия заведующего)*

«__» _____ 20___г.

Рабочая программа хранится на кафедре СС и СК и в отделе аспирантуры.

2. Цели освоения дисциплины

Целью и задачами преподавания дисциплины является изучение принципов моделирования процессов поступления и обслуживания заявок на передачу мультисервисного трафика в действующих и перспективных системах связи, методов оценки характеристик пропускной способности этих систем, а также процедур эффективного распределения ресурса передачи информации между пользователями их услуг. Полученные знания помогут аспирантам решать задачи научно обоснованного планирования пропускной способности систем связи, а также позволят анализировать результаты применения процедур, направленных на повышение эффективности их работы с целью выбора лучшего решения.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Дисциплина «Моделирование сетей и систем связи» (МССС) включена в образовательный блок дисциплин учебного плана. Дисциплина «МССС» реализуется в соответствии с требованиями ФГТ, ОП и Учебного плана по научной специальности 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Для изучения курса требуется знание: общей теории связи, информатики, вычислительной техники, теории телетрафика, теории вероятностей, вычислительной математики, основ построения инфокоммуникационных систем и сетей, а также дисциплин специального цикла: систем коммутации, цифровых систем передачи, сетей связи, технологии мультисервисных инфокоммуникационных сетей.

Рабочая программа дисциплины «МССС» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате изучения дисциплины «МССС» аспирант должен знать принципы построения, анализа и расчета моделей систем связи, учитывающих зависимость процессов поступления и обслуживания заявок на передачу трафика от вида доступа, технологий формирования ресурса обслуживания поступающих запросов и механизмов поддержки качества обслуживания.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 часа). Процесс изучения дисциплины реализуется при очной форме обучения в 4 семестре. Промежуточная аттестация предусматривает зачет в 4-ом семестре.

4.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зач. ед. (72 часов), их распределение по видам работ, семестрам представлено в таблице 1.

Таблица 1

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Виды учебной работы	Трудоемкость (часы)		4-ый семестр (указание часов по семестрам)
Аудиторные занятия (всего)	54		54
В том числе:			
Лекции	36		36
Практические занятия	18		18
Самостоятельная работа (всего)	18		18
Формы аттестации по дисциплине (зачет, экзамен)			Зачет
Общая трудоемкость дисциплины	Часы 72	ЗЕТ 2	72

4.2 Содержание дисциплины

Таблица 2

Тематический план учебной дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплин (укрупнённо)	**Всего**	**Аудиторная работа**			**Внеаудиторная работа СР**
		Л	**ПЗ/С**		
Раздел 1 Введение в теорию моделирования сетей и систем связи	8	4	2		2
Раздел 2 Моносервисные модели передачи трафика сервисов реального времени	16	8	4		4
Раздел 3 Мультисервисные модели передачи трафика сервисов реального времени	16	8	4		4
Раздел 4 Моносервисные модели передачи трафика данных	16	8	4		4
Раздел 5 Мультисервисные модели передачи трафика данных	16	8	4		4
Всего за 4-ый семестр	72	36	18		18
Зачет					
Итого по дисциплине	**72**				

4.3 Лекции /практические/ занятия

Таблица 3

Содержание лекций /практических занятий

№ п/п	Название раздела, темы	№ и название лекций/ лабораторных/ практических/ семинарских занятий	Формируемые компетенции	Кол-во часов
1.	**Раздел 1. Введение в теорию моделирования сетей и систем связи**			
	Тема 1. Ключевые понятия и методы моделирования сетей и систем связи	**Лекция №1. О**бъект исследования. Ресурс передачи информации и его распределение. Ключевые положения моделирования сетей и систем связи. Функциональная модель. Трафик. Качество обслуживания. **Лекция №2.** Структура математической модели. Состояние, траектория, характеристики обслуживания абонентов и их оценка. Марковский процесс. Экспоненциальное распределение и его свойства. Система уравнений равновесия (СУР)	Приобретение навыков моделирования сетей и систем связи	4
		Практическая работа №1. Формирование СУР в виде, удобном для программирования. Методы решения СУР. Алгоритм Гаусса-Зейделя.	Приобретение навыков численной оценки характеристик марковских моделей систем связи	2
2.	**Раздел 2. Моносервисные модели передачи трафика сервисов реального времени**			
	Тема 2. Оценка эффективности распределения ресурса в однопотоковых телекоммуникационных системах	**Лекция №3.** Модель Эрланга **Лекция №4.** Модель Эрланга с резервированием **Лекция №5.** Модель Эрланга с групповым поступлением запросов **Лекция №6.** Модель Эрланга с повторением заблокированной заявки	Приобретение навыков моделирования распределения ресурса в однопотоковых моделях передачи трафика сервисов реального времени	8
		Практическая работа №2. Оценка требуемого объема ресурса передачи информации и максимально допустимого объема трафика при заданном ресурсе для модели Эрланга и модели Эрланга с резервированием. **Практическая работа №3.** Оценка требуемого объема ресурса передачи информации и максимально допустимого объема трафика при заданном ресурсе для моделей Эрланга с групповым поступлением запросов и повторением заявок.	Приобретение навыков численной оценки характеристик качества обслуживания запросов в однопотоковых телекоммуникационных системах	4

№ п/п	Название раздела, темы	№ и название лекций/ лабораторных/ практических/ семинарских занятий	Формируемые компетенции	Кол-во часов
3.	**Раздел 3. Мультисервисные модели передачи трафика сервисов реального времени**			
	Тема 3. Оценка эффективности распределения ресурса в многопотоковых телекоммуникационных системах	**Лекция №7.** Мультисервисная модель Эрланга **Лекция №8.** Мультисервисная модель Эрланга с ограниченным доступом **Лекция №9.** Мультисервисная модель Эрланга с резервированием **Лекция №10.** Мультисервисная сеть	Приобретение навыков моделирования распределения ресурса в многопотоковых моделях передачи трафика сервисов реального времени	8
		Практическая работа №4. Оценка требуемого объема ресурса передачи информации и максимально допустимого объема трафика при заданном ресурсе для мультисервисных моделей Эрланга и мультисервисной модели Эрланга с ограниченным доступом. **Практическая работа №5.** Оценка требуемого объема ресурса передачи информации и максимально допустимого объема трафика при заданном ресурсе для мультисервисных моделей Эрланга с резервированием мультисервисной модели сети.	Приобретение навыков численной оценки характеристик качества обслуживания запросов в многопотоковых телекоммуникационных системах	4
4.	**Раздел 4. Моносервисные модели передачи трафика данных**			
	Тема 4. Оценка эффективности распределения ресурса в однопотоковых телекоммуникационных системах с задержкой в обслуживании	**Лекция №11.** Модель Эрланга с ожиданием **Лекция №12.** Модель с ожиданием, произвольным распределением времени обслуживания и одним обслуживающим устройством **Лекция №13.** Модель обслуживания эластичного трафика с дисциплиной Processor Sharing **Лекция №14.** Модель обслуживания эластичного трафика с дисциплиной Processor Sharing и ограничениями на число обслуживаемых заявок и получаемую скорость передачи данных	Приобретение навыков моделирования распределения ресурса в однопотоковых моделях передачи трафика данных с возможностью задержки в процессе обслуживания	8
		Практическая работа №6. Оценка требуемого объема ресурса передачи информации и максимально допустимого объема трафика при задан-	Приобретение навыков численной оценки характеристик качества обслужива-	4

№ п/п	Название раздела, темы	№ и название лекций/ лабораторных/ практических/ семинарских занятий	Формируемые компетенции	Кол-во часов
		ном ресурсе для модели Эрланга с ожиданием и модели с ожиданием, произвольным распределением времени обслуживания и одним обслуживающим устройством. **Практическая работа №7.** Оценка требуемого объема ресурса передачи информации и максимально допустимого объема трафика при заданном ресурсе для моделей обслуживания эластичного трафика с дисциплиной Processor Sharing и ограничениями на число обслуживаемых заявок и получаемую скорость передачи данных.	ния запросов в однопотоковых трафика данных с возможностью задержки в процессе обслуживания	
5.	**Раздел 5. Мультисервисные модели передачи трафика данных**			
	Тема 5. Оценка эффективности распределения ресурса в многопотоковых телекоммуникационных системах с задержкой в обслуживании	**Лекция №15.** Открытая сеть передачи данных **Лекция №16.** Замкнутая сеть передачи данных **Лекция №17.** Мультисервисный узел доступа при передаче эластичного трафика **Лекция №18.** Мультисервисный узел доступа при совместной передаче эластичного трафика и трафика сервисов реального времени	Приобретение навыков моделирования распределения ресурса в многопотоковых моделях передачи трафика данных с возможностью задержки в процессе обслуживания	8
		Практическая работа №8. Оценка характеристик качества обслуживания в открытых и замкнутых сетях передачи данных. **Практическая работа №9.** Оценка характеристик качества обслуживания эластичных данных в мультисервисных узлах доступа.	Приобретение навыков численной оценки характеристик качества обслуживания запросов в многопотоковых моделях передачи трафика данных с возможностью задержки в процессе обслуживания	4

5. Фонд оценочных средств

5.1. Контрольные вопросы и задания

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета в 4-м семестре:

1. Объект исследования в сетях связи. Свойства трафика сервисов реального времени. Эластичные данные. Процедуры, направленные на повышение эффективности использования ресурса передачи информации.
2. Контроль доступа и особенности его моделирования. Эффективная интенсивность информационного потока.
3. Телекоммуникационный ресурс, единица ресурса. Примеры.
4. Цель и задачи математического моделирования процесса обслуживания информационных потоков в сетях и системах связи.
5. Обслуженный, предложенный и избыточный трафик. Формула для оценки интенсивности предложенного трафика через значения интенсивности поступающих заявок и среднего времени их обслуживания.
6. Прямые и обратные задачи оценки характеристик и параметров моделей систем связи. Калькуляторы объема сетевой инфраструктуры. Примеры
7. Основные этапы построения функциональной модели системы связи
8. Функциональная модель обслуживания заявок в мультисервисном узле доступа. Единица ресурса.
9. Единицы измерения моно- и мультисервисного трафика (эрланг и эрланго-канал). Примеры практического использования.
10. Модель поступления заявок: определение. Свойства стационарности, независимости и ординарности входных потоков
11. Экспоненциальное распределение и его основные свойства, используемые при моделировании.
12. Определение пуассоновского потока (основное и альтернативное)
13. Основные свойства пуассоновского потока: суммирование и просеивание
14. Теоретическое обоснование сходимости реальных потоков к пуассоновскому
15. Модель поступления пакетов: анализ результатов измерений. Свойства агрегированного трафика трафика данных, рассматриваемого на уровне пакетов.
16. Выбор модели входного потока. Обоснование
17. Случайные процессы в теории моделирования сетей связи: состояние, траектория, свойство эргодичности, оценка характеристик с использованием траектории, имитационное моделирование.
18. Свойство PASTA
19. Качественное и конструктивное определение марковского процесса. Примеры
20. Условие существования предельных вероятностей у марковского процесса
21. Общий вид системы уравнений равновесия (СУР). Интерпретация коэффициентов. Пример.
22. Запись СУР в виде удобном для решения СУР методами линейной алгебры. Пример.
23. Формула Литтла. Дополнительные результаты, вытекающие из формулы Литтла. Примеры.
24. Математическое описание моносервисной модели Эрланга. Марковское свойство у случайного процесса, используемого для описания модели Эрланга
25. Мультисервисная модель Эрланга (ММЭ). Примеры использования. Математическое описание.
26. ММЭ: марковский процесс, характеристики обслуживания заявок, СУР.
27. ММЭ: мультипликативное представление вероятностей состояний.
28. ММЭ: рекурсивный алгоритм оценки характеристик обслуживания заявок
29. ММЭ: рекурсивный алгоритм оценки требуемой скорости линии концентрации нагрузки при заданном трафике
30. ММЭ: свойство пропорциональности и его использование при планировании ресурса узла

доступа
31. ММЭ: анализ свойства мультиплексирования
32. ММЭ: оценка максимально допустимой величины трафика при фиксированном ресурсе передачи информации
33. Мультисервисная модель Эрланга с ограниченным доступом (ММОД). Примеры использования. Математическое описание.
34. ММОД: марковский процесс, характеристики обслуживания заявок, СУР.
35. ММОД: мультипликативное представление вероятностей состояний.
36. ММОД: алгоритм оценки характеристик обслуживания заявок, основанный на использовании алгоритма свертки
37. ММОД: использование ограниченного доступа для дифференцированного обслуживания заявок
38. ММОД: оценка значений ресурса передачи и ограничений по доступу для заданных значений характеристик обслуживания заявок
39. Мультисервисная модель Эрланга с ограниченным числом абонентов (ММОА). Примеры использования. Математическое описание.
40. ММОА: марковский процесс, характеристики обслуживания заявок, СУР.
41. ММОА: соотношения между характеристиками.
42. ММОА: мультипликативное представление вероятностей состояний.
43. ММОА: рекурсивный алгоритм оценки характеристик обслуживания заявок
44. ММОА: алгоритм оценки характеристик обслуживания заявок, основанный на использовании процедуры свертки
45. Мультисервисная модель Эрланга с резервированием (ММР). Примеры использования.: Математическое описание.
46. ММР: марковский процесс, характеристики обслуживания заявок, СУР.
47. ММР: свойства матрицы СУР и анализ способов ее решения.
48. ММР: решение СУР итерационным методом Гаусса-Зейделя. Пример
49. ММР: особенности решения СУР методом Гаусса-Зейделя на ЭВМ.
50. ММР: приближенный алгоритм оценки характеристик обслуживания заявок
51. ММР: использование резервирования для дифференцированного обслуживания заявок
52. ММР: оценка значений ресурса передачи и уровней резервирования для заданных значений характеристик обслуживания заявок.
53. Модель мультисервисной сети обслуживания трафика сервисов реального времени (ММС). Математическое описание. Маршрутная матрица.
54. ММС: марковский процесс, характеристики обслуживания заявок, свойство мультипликативности.
55. ММС: альтернативные формулы оценки характеристик обслуживания заявок
56. ММС: иерархические сети, оценка характеристик методом свертки.
57. ММС: оценка характеристик методом мультипликативной границы
58. Оценка характеристик моносервисной сети методом просеивания заявок
59. ММС: оценка характеристик методом просеивания заявок
60. ММС: оценка скорости передачи звеньев сети, обеспечивающих требуемые потери заявок
61. Функциональные характеристики моделей с ожиданием. Примеры
62. Обозначения Кендалла
63. Математическое описание модели Эрланга с ожиданием (МЭО). СУР.
64. Характеристики МЭО
65. Функция распределения времени пребывания в очереди для МЭО. Примеры использования
66. Анализ эффективности мультиплексирования для МЭО. Примеры использования
67. Определение требуемой величины ресурса для МЭО
68. Определение максимально допустимой нагрузки для МЭО
69. Характеристики M/M/1
70. Характеристики M/M/v/v+w. Оценка числа операторов и линий доступа для модели call-центра

71. Формула Поллачека-Хинчина для M/G/1. Пример использования
72. Характеристики периода занятости для M/G/1
73. Модель M/G/1. Относительный и абсолютный приоритеты в обслуживании заявок. Оценка характеристик.
74. Открытые сети передачи данных. Математическое описание. Теорема Джексона
75. Открытые сети передачи данных: оценка характеристик пребывания сообщений в узлах и сети
76. Открытые сети передачи данных: оптимизация распределения фиксированного объема ресурса между узлами сети
77. Замкнутые сети передачи данных. Математическое описание. Мультипликативная форма представления значений стационарных вероятностей
78. Замкнутые сети передачи данных: оценка характеристик пребывания сообщений в узлах и сети, основанная на мультипликативной форме представления значений стационарных вероятностей
79. Открытые сети передачи данных: алгоритм MVA.
80. Модели сетей BCMP. Определение характеристик. Оценка характеристик.
81. Функциональные модели передачи эластичных данных. Примеры
82. Математическое описание модели M/M/1-PS
83. Оценка характеристик модели M/M/1-PS
84. Оценка эффективности мультиплексирования эластичного трафика с использованием M/M/1-PS
85. Оценка требуемой скорости линии при передаче эластичного трафика с использованием M/M/1-PS
86. Оценка максимально допустимой нагрузки при передаче эластичного трафика с использованием M/M/1-PS
87. Математическое описание модели M/M/1-PS с ограниченным доступом по числу абонентов (ОЧА). Примеры использования модели
88. Оценка характеристик модели M/M/1-PS с ОЧА
89. Оценка максимально допустимого числа абонентов при передаче эластичного трафика с использованием M/M/1-PS с ОЧА
90. Математическое описание модели M/M/1-PS с ограниченной скоростью доступа (ОСД). Примеры использования модели
91. Оценка характеристик модели M/M/1-PS с ОСД.
92. Математическая модель узла при передаче мультисервисного эластичного трафика с ограниченным доступом. Характеристики модели. Рекурсивный алгоритм оценки.
93. Особенности моделирования и оценки характеристик процедуры network-slicing.
94. Особенности моделирования и оценки характеристик совместного использования ресурса при совместной передаче трафика сервисов реального времени и эластичных данных.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1 Основная литература

1. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. - М.: Горячая линия – Телеком, 2015 – 868 с., ЭВС МТУСИ.
2. Кузнецов Н.А., Степанов С.Н., Степанов М.С. Моделирование сетей и систем связи. Учебное пособие. М.: МФТИ. 2019. – 271 с.

6.2 Дополнительная литература

1. Пшеничников А.П. Теория телетрафика. Учебник для вузов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2017. - 212 с.

6.3 Периодические издания

Профильные журналы: «Электросвязь», «T-Comm: Телекоммуникации и транспорт», «Автоматика и телемеханика»

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

5. Нормативно – правовые документы Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации – www. minsvyaz.ru.
6. Рекомендации Международного союза электросвязи – ITU-T – International Telecommunication Union – Telecommunication standardization sector – Сектор стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи –МСЭ-Т - http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/ITU-T/ITU-T_Rec_List_A-Z_ANO_E.htm.
7. Рекомендации Европейского института стандартизации телекоммуникаций – ETSI - European Telecommunications Standards Institute - www.etsi.org.
8. Документы инженерной рабочей группы Интернет – RFC IETF – Request For Comment - Internet Engineering Task Force - rfc.com.ru

8. Ресурсное обеспечение.

Кафедра ССиСК располагает кадровыми ресурсами, гарантирующими качество подготовки аспиранта по специальности 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций в соответствии с ФГТ.

9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1.Учебная аудитория для проведения лекционных занятий, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: наборами демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочей программе дисциплины.

2. Учебная аудитория для проведения практических и лабораторных занятий, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: наборами демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответ-

ствующие рабочей программе дисциплины, оснащенная компьютерной техникой.

10. Методические рекомендации студентам по освоению дисциплины

В процессе изучения дисциплины предусмотрены следующие формы контроля по овладению компетенциями: текущий, промежуточный контроль, контроль самостоятельной работы студентов.

Текущий контроль осуществляется в течение семестра в виде устного опроса студентов на практических занятиях. Итоговый контроль осуществляется в форме зачета в конце семестра. Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется в течение всего семестра. Преподаватель самостоятельно определяет формы контроля самостоятельной работы студентов в зависимости от содержания разделов и тем, выносимых на самостоятельное изучение. Такими формами могут являться: тестирование, презентации, контрольные работы и т.д. Результаты контроля самостоятельной работы студентов учитываются при осуществлении промежуточного контроля по дисциплине.

Самостоятельная работа является неотъемлемой частью обучения.

На самостоятельное изучение выносятся задания, направленные на:

- работу с электронными информационными и образовательными ресурсами;
- овладение и закрепление основной терминологии по направлению;
- работу со специальной литературой как способом приобщения к последним мировым научно-техническим достижениям в профессиональной сфере;
- овладение основными приемами составления аннотаций и написания рефератов, подготовки презентаций и выступлений.

Самостоятельная работа может быть аудиторной (выполнение отдельных заданий на занятиях) и внеаудиторной.

Для выполнения самостоятельной работы используются:

1. Учебники и учебные пособия.
2. Профильные периодические издания.
3. Электронные ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

Самостоятельная работа студента по дисциплине включает:

- проработку лекционного материала, а также материала, изучаемого на практических занятиях;
- подготовку к практическим занятиям;
- подготовку к зачету.