

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Факультет вычислительной математики и кибернетики

УТВЕРЖДАЮ  
декан факультета  
вычислительной математики и кибернетики  
 / И.А. Соколов /  
2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

---

**Адаптивные сервис-ориентированные сети**

**Уровень высшего образования:**

**магистратура**

**Направление подготовки / специальность:**

**01.04.02 "Прикладная математика и информатика" (3++)**

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**Перспективные методы искусственного интеллекта  
в сетях передачи и обработки данных**

**Форма обучения:**

**очная**

Рабочая программа рассмотрена и утверждена  
на заседании Ученого совета факультета ВМК  
(протокол № 4, от 29 сентября 2021 года)

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 01.04.02 "Прикладная математика и информатика" программы магистратуры в редакции приказа МГУ от 21 декабря 2021 года No 1404.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:  
дисциплина относится к базовой части ОПОП ВО.

Дисциплина входит в обязательную часть магистерской образовательной программы «Перспективные методы искусственного интеллекта в сетях передачи и обработки данных», изучается в 1-м семестре.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):

Изучение дисциплины базируется на освоении знаний о принципах работы операционных систем, традиционных компьютерных сетей, программно-конфигурируемых компьютерных сетей в объеме, соответствующем основным образовательным программам бакалавриата по укрупненным группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика», 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки» и другим направлениям подготовки бакалавриата.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю):

<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>		
<b>Формируемые компетенции (код и наименование компетенции)</b>	<b>Индикаторы достижения компетенций (код и наименование индикатора)</b>	<b>Результаты обучения (знания, умения)</b>
ОПК-5. Способен разрабатывать алгоритмы и программные средства для решения задач в области создания и применения искусственного интеллекта	ОПК-5.1. Применяет инструментальные среды, программно-технические платформы для решения задач в области создания и применения искусственного интеллекта ОПК-5.2. Разрабатывает оригинальные программные средства для решения задач в области создания и применения искусственного интеллекта	ОПК-5.1. З-1. Знает основные концепции и методы системного анализа (композиция и декомпозиция, абстрагирование и конкретизация, структурирование, алгоритмизация и др.) ОПК-5.1. З-2. Знает способы применения методов системного анализа и границы их применимости в сфере исследовательской деятельности ОПК-5.1. У-1. Умеет формулировать проблемную ситуацию, определять цели исследования и критерии их достижения ОПК-5.1. У-2. Умеет осуществлять моделирование исследуемой системы, формулировать гипотезы и планировать эксперименты с целью их подтверждения или опровержения

		<p>ОПК-5.2. З-1. Знает основные программные средства, используемые для системного моделирования в сфере исследовательской деятельности</p> <p>ОПК-5.2. З-2. Знает принципы работы, системную архитектуру и основные технические характеристики программных средств, используемых для системного моделирования в сфере исследовательской деятельности</p> <p>ОПК-5.2. У-1. Умеет сформулировать задачу и гипотезу исследования с использованием программного кода средств системного моделирования</p> <p>ОПК-5.2. У-2. Умеет конфигурировать и адаптировать типовые программные средства системного анализа и моделирования для решения задач в сфере исследовательской деятельности</p>
<p>ПК-3. Способен разрабатывать и применять методы и алгоритмы машинного обучения для решения задач</p>	<p>ПК-3.1. Ставит задачи по разработке или совершенствованию методов и алгоритмов для решения комплекса задач предметной области</p>	<p>ПК-3.1. З-1. Знает классы методов и алгоритмов машинного обучения</p> <p>ПК-3.1. У-1. Умеет ставить задачи и разрабатывать новые методы и алгоритмы машинного обучения</p>
	<p>ПК-3.2. Руководит исследовательской группой по разработке или совершенствованию методов и алгоритмов для решения комплекса задач предметной области</p>	<p>ПК 3.2. З-1. Знает методы и критерии оценки качества моделей машинного обучения</p> <p>ПК 3.2. У-1. Умеет определять критерии и метрики оценки результатов моделирования при построении систем искусственного интеллекта в исследуемой области</p>

	ПК-3.3. Разрабатывает унифицированные и обновляемые методологии описания, сбора и разметки данных, а также механизмы контроля за соблюдением указанных методологий	ПК-3.3. З-1. Знает унифицированные и обновляемые методологии описания, сбора и разметки данных, а также механизмы контроля за соблюдением указанных методологий ПК-3.3. У-1. Умеет разрабатывать унифицированные и обновляемые методологии описания, сбора и разметки данных, а также механизмы контроля за соблюдением указанных методологий
--	--	--

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 4 з.е., в том числе 72 часа составляет контактная работа с преподавателем – 36 академических часов занятий лекционного типа, 36 академических часов занятий практического типа, 72 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости* (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы				
	Занятия лекционного типа	Практические занятия			
Тема 1. Современные системы передачи данных	2	2	4	8	Лабораторная работа
Тема 2. Технология MPLS	4	4	8	16	опрос
Тема 3. Программно-конфигурируемые сети	6	6	12	24	опрос
Тема 4. Анализ функционирования компьютерных сетей методом имитационного моделирования	6	6	12	24	Практическая работа
Тема 5. Методы управления качеством сервисов в компьютерных сетях	6	6	12	24	опрос
Тема 6. Управление политиками маршрутизации в компьютерных сетях	6	6	12	24	опрос
Тема 7. Сети хранения данных	6	6	12	24	опрос
Другие виды самостоятельной работы (отсутствуют)	—	—			—
Промежуточная аттестация (экзамен)					
<b>Итого</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>72</b>	<b>144</b>	—

## 5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	Тема 1. Современные системы передачи данных	Проблемы TCP/IP компьютерных сетей и требования рынка. Беспроводные системы передачи данных. Оптические системы передачи данных.
2.	Тема 2. Технология MPLS	Применение технологии MPLS в сетях связи. Построение L3 и L2 VPN с использованием MPLS. Применение технологии MPLS Traffic Engineering (MPLS TE).
3.	Тема 3. Программно-конфигурируемые сети	Основы программно-конфигурируемых сетей. Протокол OpenFlow. Варианты применения программно-конфигурируемых сетей. Основы виртуализации сетевых сервисов.
4.	Тема 4. Анализ функционирования компьютерных сетей методом имитационного моделирования	Имитационное моделирование компьютерных сетей. Основы легковесной виртуализации.
5.	Тема 5. Методы управления качеством сервисов в компьютерных сетях	Распределение ресурсов сети между транспортными соединениями. Устройство современных коммутаторов. Модели качества сервиса в сети интернет. Основы сетевого исчисления.
6.	Тема 6. Управление политиками маршрутизации в компьютерных сетях	Методы проверки политик маршрутизации. Методы безопасного обновления конфигурации сети
7.	Тема 7. Сети хранения данных	Сравнительный анализ систем хранения данных: серверно-ориентированная архитектура (COA) в сравнении с Сетью дисковых подсистем (ДПС). Архитектура дисковых подсистем (ДПС). Виды ДПС, внутренняя организация ДПС, интерфейсы ДПС. RAID массивы: RAID схемы и их свойства, виды резервирования. Методы ускорения работы дисковых массивов (caching). Методы повышения отказоустойчивости ДПС (виды зеркалирования и поддержки консистентности данных). Системы передачи данных для СХД: SCSI, Fiber Channel. Программно-конфигурируемые СХД и виртуальные хранилища данных.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

Темы рефератов:

1. Архитектура и принципы работы сети Интернет

- Почему в основе Интернета лежит ненадежный протокол без соединений?
- Какой должны быть архитектура современного Интернета?

2. Коммутация и маршрутизация

- Предпосылки возникновения и преимущества использования протокола LISP (Locator/ID Separation Protocol)
- Необходимость использования, достоинства и недостатки используемых оверлейных технологий в современном ЦОД.

3. Управление Перегрузкой

- Алгоритм управления перегрузкой TCP BBR: преимущества и недостатки
- Взаимодействие механизмов управления перегрузками на транспортном и канальном уровнях
- Алгоритмы управления перегрузками в центрах обработки данных

4. Программно конфигурируемые сети

- Достоинства и недостатки концепции ПКС.
- Методология сравнительного анализа контроллеров ПКС.
- Виды организации SDN/OpenFlow коммутатора: их достоинства и недостатки.
- Сложность разработки приложений для ПКС контроллера. Обзор языков программирования, на примерах, pyretic, maple и др.
- Как должен выглядеть протокол OpenFlow 2.0 с учетом возможностей, предлагаемых альтернативными протоколами управления сетевыми устройствами (P4, POF, и т.п.)
- Применение SDN/OpenFlow в корпоративной сети. Описание архитектуры и организации такой сети, сервисов в ней. Состав и организация приложений для контроллера ПКС.
- Применение SDN/OpenFlow в ЦОД. Описание архитектуры и организации такой сети, сервисов в ней. Состав и организация приложений для контроллера ПКС. Совместное использование с технологией NFV.
- Применение SDN/ OpenFlow в магистральных сетях. Описание архитектуры такой сети, сервисов в ней. Состав и организация приложений для контроллера ПКС.
- Подходы к организации программно конфигурируемых точек обмена трафика.

5. Протокол MPLS

- Возможности, особенности, преимущество использования MPLS в корпоративной сети.
- Механизмы обеспечения качества обслуживания в MPLS сетях
- Основные преимущества MPLS-TE способствовавшие его внедрению в сетях операторов связи.

- Плюсы и минусы MPLS VPN по сравнению с другими способами реализации VPN
- Как MPLS протокол позволяет сократить задержку сходимости в сети?
- Как MPLS протокол позволяет сократить задержку сходимости в сети?

#### 6. Моделирование сетей

- Достоинства и недостатки имитационного моделирования сети на базе легковесных контейнеров.
- Сравнительный анализ основных подходов в моделировании компьютерных сетей.
- Проблема генерации входящего трафика для имитационной модели сети.
- Проблема масштабирования результатов имитационного моделирования сети.
- Распределенное моделирование сетей на базе легковесных контейнеров. Базовая архитектура, основные преимущества и недостатки.
- Архитектура среды прогона экспериментов для системы моделирования компьютерной сети. Особенности проведения экспериментов при моделировании сети на базе легковесных контейнеров.

#### 7. Формальные методы анализа в сетях

- Сравнительный анализ средств автоматического детектирования OpenFlow правил, пропавших из таблиц коммутации
- Специализированные языки программирования для управляющих приложений контроллера ПКС.

#### 8. QoS – управление качеством сервиса в сетях

- Использование прокси-серверов для ускорения протяжённых TCP соединений
- Увеличение производительности распределённых программ с помощью абстракции связанных потоков
- Методы распределения пакетов между потоками многопоточного соединения
- Методы построения коммутаторов с низким временем отклика

#### 9. Сетевое исчисление

- Решение задач сетевого исчисления с помощью линейного программирования

Вопросы для лабораторных работ по теме «Современные системы передачи данных»

1. На маршрутизаторе R1 настройте OSPF процесс с номером 1 и включите в данном OSPF процессе в area с номером 1 интерфейсы loopback0 и FastEthernet0/0, используя их IP адреса.
2. На маршрутизаторе R1 настройте процесс BGP с номером автономной системы 100 и установите соседство с маршрутизатором R2, используя в качестве IP адреса назначения Loopback0 маршрутизатора R2, а в качестве IP адреса источника loopback0 интерфейс маршрутизатора R1. Анонсируйте по протоколу BGP сеть 100.0.0.0/24 в которой находится ПК1.
3. Установите на маршрутизаторе R1 диапазон 1000 – 1999 номеров MPLS меток для маршрутизатора.
4. Посмотрите как изменится процесс обработки трафика между Вашими маршрутизаторами
5. С помощью утилиты ping в windows убедитесь какой максимальный размер пакета может быть передан через сеть между ПК1 и ПК2 без фрагментации. Проверьте, проходит ли ping –l 1472 –f между ПК? Как Вы думаете почему? Каков максимальный размер пакета успешно проходящего между ПК?

6. Увеличьте MTU на интерфейсах R1 и R2 смотрящих в ядро сети так, чтобы добавление MPLS метки не мешало передаче 1500 байтных пакетов клиентов без использования фрагментации. Обратите внимание, что MPLS MTU должен быть увеличен, в то время как ip MTU для нормальной работы должен быть как и прежде равным 1500 байт.
7. Заведите на маршрутизаторах R1 и R2 vrf с именем new-vrf . Задайте для Вашего VRF RouteDistinguisher 1:1 . Задайте для Вашего VRF Route Target 1:1 как для экспорта так и для импорта. Поместите интерфейс FastEthernet 0/1 Вашего маршрутизатора R1 и R2 в созданный VRF. Обратите внимание, что в результате с данного интерфейса будет удален IP адрес, который нужно будет задать заново.
8. На маршрутизаторе R1 войдите в процесс BGP, войдите в address-family VPNv4 и активируйте BGP соседа (R2) для обмена с ним VPNv4 маршрутами.
9. Установите AToM соединение между интерфейсами, в которых находятся ПК1 и ПК2. Для установления соединения используйте VC-ID=100. Убедитесь в том, что установилось Targeted-LDP соседство между маршрутизаторами R1 и R2.

Вопросы для практических работ по теме «Имитационное моделирование компьютерных сетей»

Данное задание состоит из трех основных частей: настройки IP-адресов на машинах, настройки статической маршрутизации между разными сетями и настройки iptables для реализации простейших NAT и Firewall.

Всю работу рекомендуется проводить на топологии, которая должна состоять из двух групп хостов, находящихся в разных сетях и L2-сегментах, и двух граничных роутеров.

Хостами являются все листовые вершины графа сети, а также те вершины, которые лежат на концах канала, связующего разные NPS-рабочие узлы (см. лекцию 1).

В качестве решения текущего задания принимается письменный отчет, разбитый по частям, соответствующим частям задания. Каждая такая часть должна содержать скриншоты и/или объяснения полученных результатов.

#### Часть 1: Настройка IP-адресов

1. NPS при создании модели выдает некоторый набор IP-адресов для хостов каждой из сетей. Эти IP-адреса должны быть заменены с помощью утилиты ifconfig на IP двух сетей.
2. Отдельно настройте IP сети между роутерами. Их выдавайте из произвольной сети.
3. Необходимо прислать скриншоты ifconfig с каждого хоста и роутера.

#### Часть 2: Настройка статической маршрутизации

1. Запустите команду ping последовательно между хостами из одной сети и хостами из разных сетей. Объясните полученные результаты.
2. Настройте с помощью утилиты route маршруты так, чтобы было возможно установить соединения между хостами разных сетей. (Подсказка: не забывайте проставлять gateway).
3. После того, как соединение будет возможно установить, пришлите скриншоты результатов команды “ping -c 4” между хостами из одной сети и хостами из разных сетей (достаточно по одной паре для каждого случая).

4. Запустите команду `iperf` между хостами из одной сети и хостами из разных сетей. Пришлите скриншоты и объяснения результатов.

#### Часть 3: Настройка iptables

1. Выберите один из роутеров и на нем настройте iptables так, чтобы любые пакеты из сети, находящейся за другим роутером, сбрасывались. (firewall).
2. Пришлите скриншоты iptables -L для роутера, пришлите скриншоты ping -с 4 между хостами из разных сетей.
3. На другом роутере настройте iptables так, чтобы IP-адреса имеющихся хостов в сети за роутером подменялись на IP-адреса из произвольной сети (можно настроить NAT для сети или по отдельности для каждого IP). Целью является обойти firewall. (Подсказка: не забудьте добавить новые правила маршрутизации).
4. Пришлите скриншоты iptables -L роутера.
5. Запустите ping между хостами из разных сетей, запустите tcpdump на хосте отправителе, роутере с firewall на интерфейсе ext0 и на хосте получателе.пришлите скриншоты этих tcpdump. Рекомендуется использовать фильтры.

#### Вопросы для практических работ по разделу «Качество Сервиса»

Каждому слушателю курса предлагается выполнить один из вариантов практического задания по исследованию свойств алгоритмов управления перегрузкой протокола TCP.

В ходе выполнения задания каждому слушателю необходимо развернуть на своём компьютере виртуальную сетевую топологию из трёх программных коммутаторов OpenvSwitch (S1, S2 и S3), последовательно соединённых между собой с помощью виртуальных сетевых интерфейсов типа Linux veth pair. Для построения топологии допускается как использование системы Mininet, так и непосредственное конфигурирование хостовой машины с помощью стандартных системных утилит.

К каждому коммутатору необходимо подключить по одному хосту так, чтобы имя хоста, соединённого с коммутатором под номером x, соответствовало шаблону Hx. Настроить сетевые интерфейсы хостов H1, H2 и H3, присвоив им статические IP адреса.

Коммутаторы необходимо настроить таким образом, чтобы обеспечить связность между IP адресами хостов.

В рамках выполнения данного задания слушателям предлагается провести три серии экспериментов, поочерёдно установив следующие соединения с помощью утилиты iperf3:

1. Между хостами H1 и H2 (моделируем работу соединения в магистральной сети)
2. Между хостами H2 и H3 (моделируем работу соединения в беспроводной сети);
3. Между хостами H1 и H3 (моделируем соединение с удалённым сервером для пользователя беспроводной сети);

В ходе каждой серии требуется провести по одному прогону для алгоритмов управления перегрузкой: reno и cubic. Время проведения каждого прогона – 1 минута.

Перед каждым запуском iperf3 необходимо настроить систему для сбора истории изменения окна перегрузки порождаемого при этом TCP соединения. Для этого предлагается задействовать модуль ядра Linuxtcp\_probe, который создаёт именованный канал /proc/net/tcpprobe и записывает в него текущую хранящуюся в ядре информацию о соединении всякий раз, когда изменяется его окно перегрузки.

Полученные данные содержат информацию не только об окне управления перегрузкой для отправителя, но и для получателя, поэтому их нужно отфильтровать.

На основании собранных данных требуется построить график изменения окна перегрузки.

Кроме того, по результатам проведённых экспериментов необходимо составить таблицу со следующими колонками:

1. серия экспериментов (backbone, wireless, mixed)
2. алгоритм управления перегрузкой (reno, cubic)
3. средняя скорость соединения (на основе анализа вывода клиента iperf3)
4. Средняя степень утилизации сети (в процентах).

Кроме того необходимо дать развёрнутые ответы на приведённые ниже вопросы:

1. *Чем обусловлена разница в скоростях, которую позволяют развить cubic и reno в магистральных и беспроводных сетях?*
2. *Какой из указанных алгоритмов выгоднее использовать на практике?*
3. *Почему одной из наиболее важных характеристик современных алгоритмов перегрузки является дружелюбность по отношению к другим алгоритмам (TCP friendliness)?*

Вопросы к экзамену

1. Спутниковые системы передачи данных: классификация, достоинства и недостатки. Примеры спутниковых СПД.
2. Одновременное применение концепций NFV и SDN. Основные задачи. Примеры.
3. Методы моделирования компьютерных сетей. Понятия модели, точности моделирования. Плюсы и минусы каждого метода моделирования.
4. Устройство коммутационной матрицы. Принципы передачи пакетов через коммутационную матрицу при виртуальной буферизации на выходе. Неприменимость алгоритма поиска наибольшего паросочетания для выборки пакетов.
5. Архитектура LTE системы. Ресурсная сетка и ее роль в передаче данных в LTE сети.
6. Проблематика производительности сетевых сервисов. Суть проблемы, узкие места и варианты решения.
7. Методы имитационного моделирования компьютерных сетей. Системная динамика: основные понятия, примеры моделей.
8. Механизмы управления качеством сервиса на уровне коммутатора. Ограничение интенсивности потоков по алгоритму tokenbucket. Дисциплины очередизации: сброс и выборка пакетов.
9. Организация и схема работы GSM сети. Методы мультиплексирования в GSM сетях.
10. Виртуализация сетевых сервисов (NFV). Проблемы телеком. операторов. Уровни развития NFV. Архитектура и основные термины по ETSI. Варианты применения.
11. Способы обеспечения качества обслуживания в MPLS сетях.

12. Принципы функционирования протокола резервирования ресурсов RSVP. Модели управления качеством сервиса в сети Интернет: IntServ и DiffServ.
13. Особенности беспроводных коммуникаций. Стандарты и принцип работы WiFi СПД.
14. Распределенный уровень управления в SDN/OpenFlow. Основные угрозы. Стратегии резервирования. Основные задачи и варианты решения.
15. Методы имитационного моделирования компьютерных сетей. Агентное моделирование: основные понятия, примеры моделей.
16. Связь задачи управления качеством с задачей распределения сетевых ресурсов. Управление качеством с помощью планирования маршрутов и многопоточной маршрутизации.
17. FC-3, FC-4: сервисы, имена, адреса, сервисы среды коммутации.
18. Производительность и программируемость OpenFlow контроллеров. Способы улучшения производительности. Проблематика Northbound API и варианты решения.
19. Методы имитационного моделирования компьютерных сетей. Дискретно-событийное моделирование: основные понятия, примеры моделей.
20. Основные понятия сетевого исчисления. Функции поступления и отправки, задержка и отставание, кривые нагрузки и сервиса. Оценки отставания, задержки и интенсивности выходного потока.
21. FC-2: структура кадра, организация передачи данных, управление потоком, классы обслуживания.
22. OpenFlow контроллер. Архитектура и принцип работы. Требования к контроллеру OpenFlow. Экспериментальное исследование и методика. Достоинства и недостатки методики.
23. Архитектура системы NPS. LXC контейнеры. Особенности моделирования глобальных компьютерных сетей.
24. Построение оценки для сквозной задержки передачи данных через сеть с помощью алгоритма SFA. Причины низкой точности алгоритма SFA при его применении в предположениях модели DiffServ.
25. FC-0, FC-1: характеристики физической среды, кодировка, упорядоченные наборы, управление линией.
26. Производительность и программируемость. OpenFlow контроллеров. Способы улучшения производительности. Проблематика Northbound API и варианты решения.
27. Основы контейнерной визуализации. Проект Docker: цели проекта, основные преимущества, базовые команды управления.
28. Основные понятия и определения из области формальных методов. Задача формальной верификации на примере алгоритма Петерсона. Формальная модель, спецификация поведения, алгоритм верификации.
29. Fibre Channel: основные характеристики, структура стека протоколов, топологии, типы портов.
30. OpenFlow контроллер. Архитектура и принцип работы. Требования к контроллеру OpenFlow. Экспериментальное исследование и методика. Достоинства и недостатки методики.
31. Мониторинг сетевого трафика. Утилиты tcpdump, wireshark. Привести примеры фильтров tcpdump на L2, L3, L4, L7 уровнях сетевого трафика.
32. Задача формальной верификации конфигурации сети на примере средства VERMONT. Формальная модель, спецификация поведения, алгоритм верификации.
33. Тракт от CPU до ДПС. SCSI интерфейс: структура, адресация устройств, организация СХД на SCSI.
34. Варианты применения SDN/OpenFlow в корпоративном сегменте, телеком операторы и сервис провайдеры, ЦОД и облачные вычисления.

35. Предпосылки возникновения MPLS. Что дает внедрение технологии MPLS.
36. Варианты постановки задачи синтеза консистентного обновления конфигурации сети. Алгоритм трёхфазного обновления конфигурации сети с помощью тегирования.
37. Интеллектуальные ДПС: удаленное зеркалирование, групповая консистентность, LUN маскирование. Методы повышения устойчивости работы ДПС.
38. OpenFlow 1.3. Несколько таблиц потоков, групповые таблицы, Meter таблицы, механизм отказоустойчивости контроллеров. Пример приложения по маршрутизации в SDN/OpenFlow.
39. Основные варианты применения MPLS технологии.
40. Классификация коммутационных устройств по поколениям. Варианты компоновки коммутаторов в зависимости от метода буферизации. Требования к производительности блоков коммутатора.
41. RAID дисковые массивы и их уровни. Горячее резервирование, способы ускорения работы ДПС.
42. Протокол OpenFlow. Структура OpenFlow коммутатора и контроллера. Таблица потоков. Основные сообщения протокола OpenFlow. Принципы установки правил. Суть вопроса “SDN = OpenFlow?”
43. Достоинства и недостатки реализации VPN с помощью MPLS по сравнению с другими способами реализации VPN.
44. Устройство коммутационной матрицы. Принципы передачи пакетов через коммутационную матрицу при виртуальной буферизации на выходе. Неприменимость алгоритма поиска наибольшего паросочетания для выборки пакетов.
45. Сравнение серверно-ориентированной архитектуры со Storage-ориентированной архитектурой. Внутренняя организация Дисковой ПодСистемы (ДПС).
46. Проблемы традиционных сетей. Основные принципы SDN. Архитектура SDN. Преимущества SDN. Примеры применения. Абстракции в IT и в SDN.
47. Преимущества применения технологий AToM, MPLS VPN (L3 VPN), VPLS в сетях.
48. Связь задачи управления качеством с задачей распределения сетевых ресурсов. Управление качеством с помощью планирования маршрутов и многопоточной маршрутизации.
49. Механизмы мониторинга, обнаружения и коррекции ошибок в стандарте ITU G.709.
50. Одновременное применение концепций NFV и SDN. Основные задачи. Примеры.
51. Способы обеспечения качества обслуживания в MPLS сетях.
52. Механизмы управления качеством сервиса на уровне коммутатора. Ограничение интенсивности потоков по алгоритму tokenbucket. Дисциплины очередей: сброс и выборка пакетов.
53. Мультиплексирование (FDM, WDM, TDM, PDH, CDMA, OFDM, MIMO). Примеры стандартов мультиплексирования. Методы ускорения передачи данных в системах передачи данных.
54. Проблематика производительности сетевых сервисов. Суть проблемы, узкие места и варианты решения.
55. Основные преимущества MPLS-TE способствовавшие его внедрению в сетях операторов связи.
56. Принципы функционирования протокола резервирования ресурсов RSVP. Модели управления качеством сервиса в сети Интернет: Int Serv и DiffServ.

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине</b>				
Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
виды оценочных средств				
<b>Знания</b> (виды оценочных средств: опрос, тесты)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (виды оценочных средств: практические задания)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> (виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература

- 1 Смелянский Р. Л. Компьютерные сети: в 2 т. т.1 Системы передачи данных. - Издательский центр "Академия" г.Москва, 2011. - С. 304.
- 2 Смелянский Р. Л. Компьютерные сети: в 2 т. т.2. Сети ЭВМ. - Издательский центр "Академия" г.Москва, 2011. - С. 240.

Дополнительная литература

- 1 Таненбаум Э, Уэзеролл Д. Компьютерные сети. — Питер, 2012. — 960 с..
- 2 *Европейский институт стандартизации телекоммуникаций (ETSI - the European Telecommunications Standards Institute), www.etsi.org*
- 3 *Основной документ - ETSI: Radio Equipment and Systems Methods of Measurement for Mobile Radio Equipment (ETR027), www.etsi.org/search*
- 4 *Список документации ETSI - GSM UMTS 3GPP Numbering Cross References, www.etsi.org/eds/gsmumts.pdf.*
- 5 Дж. Беллами Цифровая телефония
- 6 В.М. Охорзин, Д.С. Кукунин, М.С. Новодворский Построение каскадных кодов на основе кодов Боуза – Чоудхури – Хоквингема и Рида – Соломона. Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, <http://dvo.sut.ru/libr/opds/i287ohor/index.htm>
- 7 Крис Касперски Могущество кодов Рида-Соломона или информация, воскресшая из пепла
- 8 Трифонов Петр Владимирович – Адаптированное кодирование в многочастотных системах. [dcn.infos.ru/~petert/papers/PhD.pdf](http://dcn.infos.ru/~petert/papers/PhD.pdf)
- 9 «Элементарное руководство по CRC – алгоритмам обнаружения ошибок» Ross N . Williams , Rock Soft
- 10 “Вестник связи” No 1 '2008 Что такое OTN? И.И. ВЛАСОВ, технический директор ООО “Вилком Холдинг”, Д.В. СЛАДКИХ, заместитель технического директора
- 11 ITU-T G.709 Application Note: 1379
- 12 A Tutorial on Reed-Solomon Coding for Fault-Tolerance in RAID-like Systems - James S. Plank, Technical Report UT-CS-96-332, University of Tennessee, July, 1996. <http://www.cs.utk.edu/~plank/plank/papers/CS-96-332.html>
- 13 Vitaly Antonenko, Ruslan Smelyanskiy, NikolaevAndrey. Large Scale Network Simulation Based on Hi-Fi Approach. // Summer Computer Simulation Conference 2014
- 14 M. Karo; M. Hluchyj; S. Morgan Input Versus Output Queuing on a Space-Division Packet Switch (1987)
- 15 N. McKeown A. Mekkittikul V. Anantharam J. Walrand Achieving 100% Throughput in an Input-Queued Switch
- 16 David D. Clark, K. Sollins, J. Wroclawski, R. Braden, Tussle in Cyberspace: Defining Tomorrow’s Internet Proceedings of SIGCOMM 2002, ACM Press, 2002
- 17 Le Boudec J.-Y. and Thiran P. Network Calculus: A Theory of Deterministic Queuing Systems for the Internet
- 18 Fidler M. Survey of deterministic and stochastic service curve models in the network calculus
- 19 Queueing Theory, Agner Krarup Erlang, 1909
- 20 Queueing Networks, James R. Jackson, 1957
- 21 Scheduling Theory, Liu & Layland, 1972
- 22 Network Calculus, Rene Cruz, 1991
- 23 J. B. Schmitt, F. A. Zdarsky, and M. Fidler, Delay bounds under arbitrary multiplexing: When network calculus leaves you in the lurch ... Proceedings of INFOCOM 2008
- 24 Boudec , J-Y., Thiran, P. Network calculus: a theory of deterministic queuing systems for the internet, Springer-Verlag, 2001, vol. LNCS 2050, revised version 4, May 10, 2004.
- 25 A. Bouillard, B. Gaujal, S. Lagrange, E. Thierry Optimal routing for end-to-end guarantees using network calculus Performance Evaluation, 2008
- 26 Bouillard A., Jouhet L., Thierry E. Tight performance bounds in the worst-case analysis of feed-forward networks // INFOCOM 2010. — San Diego, USA, 2010. — Pp. 1–9

- 27 TCP Congestion Control (Simon S. Lam)
- 28 Qadir, J.; Hasan, O., Applying Formal Methods to Networking: Theory, Techniques, and Applications, Communications Surveys & Tutorials, IEEE , vol.17, no.1, pp.256-291, 2015
- 29 David Clark The Design Philosophy of the DARPA Internet Protocols SIGCOMM '88. —ACM, 1988. —Pp. 106–114.
- 30 Andreas Voellmy, Paul Hudak Nettle: taking the sting out of programming network routers
- 31 Andreas Voellmy, Hyojoon Kim, Nick Feamster Procera: a language for high-level reactive network control
- 32 Joshua Reich , Christopher Monsanto , Nate Foster , Jennifer Rexford , David Walker Modular SDN Programming with Pyretic
- 33 Marco Canini, Daniele Venzano et. al A NICE way to test OpenFlow applications
- 34 Thomas Ball, Nikolaj Björner et al. VeriCon: Towards Verifying Controller Programs in Software-Defined Networks
- 35 Al-Shaer E., Al-Haj S. FlowChecker: Configuration Analysis and Verification of Federated Openflow Infrastructures // SafeConfig '10. —Chicago, USA, 2010. —Pp. 37–44
- 36 Kazemian P., Chang M., Zeng H., Varghese G., McKeown N., Whyte S. Real Time Network Policy Checking Using Header Space Analysis // NSDI'13. —Lombard, USA, 2013. —Pp. 99–111
- 37 A. Noyes, T. Warszawski, P. Cernyand, N. Foster. Toward Synthesis of Network Updates. 2-nd Workshop on Synthesis (CAV-2013), 2013, Saint Petersburg, Russia
- 38 M. Reitblatt, N. Foster, J. Rexford, D. Walker. Consistent updates for software-defined networks: change you can believe in! HotNets, v. 7, 2011.
- 39 S. Raza, Y. Zhu, C.-N. Chu S. Raza, Y. Zhu, C.-N. Chuah. Graceful network state migrations. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2011.
- 40 K. Kogan, S. Nikolenko, W. Culhane, P. Eugster, E. Ruan. Towards efficient implementation of packet classifiers. Proc. of the 2-d Workshop on Hot Topics in SDN, 2013.
- 41 Storage Networks Explained: Basics and Application of Fibre Channel SAN, NAS, iSCSI, InfiniBand and FCoE, Second Edition. U. Troppens, W. Müller-Friedt, R. Wolafka, R. Erkens and N. Haustein © 2009 John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 978-0-470-74143-6
- 42 L. Vanbever Novel Applications for a SDN-enabled Internet eXchange Point
- 43 David A. Patterson, Garth Gibson, and Randy H. Katz. A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID)

7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Система тестирования на базе Moodle
2. Операционная система ALT Linux MATE Starterkit 9 лицензия GPL
3. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия

7.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ

2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»

#### 7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- 1 <https://tools.ietf.org/html/rfc2453>
- 2 <https://tools.ietf.org/html/rfc1142>
- 3 <https://tools.ietf.org/html/rfc2328>
- 4 <https://tools.ietf.org/html/rfc2544>
- 5 <https://tools.ietf.org/html/rfc6815>
- 6 <http://telenetwork.narod.ru/books/cisco/Mamaev/telecomtech/bgp.html#7.3.6>
- 7 <http://www.ixbt.com/mobile/gsm-nets.htm>
- 8 [http://www.mobile-networks.ru/articles/seti\\_lte\\_struktura\\_i\\_princip\\_raboty.html](http://www.mobile-networks.ru/articles/seti_lte_struktura_i_princip_raboty.html)
- 9 <http://www.insidepro.com/kk/027/027r.shtml>
- 10 <http://blogs.salleurl.edu/raising-a-data-center/the-importance-of-the-qos/>
- 11 [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/WAN\\_and\\_MAN/QoS\\_SRND/QoS-SRND-Book/QoSIntro.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/WAN_and_MAN/QoS_SRND/QoS-SRND-Book/QoSIntro.html)
- 12 [https://prohardver.hu/tudastar/qos\\_quality\\_of\\_service.html](https://prohardver.hu/tudastar/qos_quality_of_service.html)
- 13 [https://ru.wikipedia.org/wiki/RAID#RAID\\_4](https://ru.wikipedia.org/wiki/RAID#RAID_4)

#### 7.5. Описание материально-технического обеспечения.

Образовательная организация, ответственная за реализацию данной Программы, располагает соответствующей материально-технической базой, включая современную вычислительную технику, объединенную в локальную вычислительную сеть, имеющую выход в Интернет. Используются специализированные компьютерные классы, оснащенные современным оборудованием. Материальная база соответствует действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивает проведение всех видов занятий (лабораторной, практической, дисциплинарной и междисциплинарной подготовки) и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом.

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

9. Разработчик (разработчики) программы.

д.ф.- м.н., чл.-корр. РАН, профессор Смелянский Руслан Леонидович