

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

«Утверждаю»

Декан факультета ВМК МГУ
имени М.В. Ломоносова

академик

И.А. Соколов

« » _____ 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Управление качеством сервисов в компьютерных сетях»

Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

Направление подготовки – 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника»

Направленность (профиль) – «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети» (05.13.15)

2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Управление качеством сервисов в компьютерных сетях

2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ

Направление 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника». Направленность (профиль) «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети» (05.13.15).

4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина относится к специальным дисциплинам вариативной части образовательной программы и является обязательной для освоения.

5. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
ПК-2: способность разрабатывать и реализовывать алгоритмы организации работы современных вычислительных комплексов и компьютерных сетей	ЗНАТЬ: современные методы разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения Код 31 (ПК-2) УМЕТЬ: применять современные методы разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения

	<p align="center">Код У1 (ПК-2)</p> <p>ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения</p> <p align="center">Код В1 (ПК-2)</p>
<p>ОПК-1 владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности</p>	<p>З1 (ОПК-1) Знать: классические математические методы, применяющиеся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий</p> <p>У1 (ОПК-1) Уметь: применять классические методы построения и анализа математических моделей</p> <p>В1 (ОПК-1) Владеть: базовыми навыками выбора методов и средств построения и анализа математических моделей</p>
<p>Способность к выбору оптимальных методов обеспечения качества сервиса в зависимости от характеристики сети (СПК-70)</p>	<p>З1 (СПК-70) Знать: основные понятия и терминологию в области управления сетевыми ресурсами и качеством сервиса (QoS), основные показатели QoS, основные подходы к балансировке нагрузки, управлению перегрузкой, мультиплексированию/демультиплексированию и сегментации соединений.</p> <p>У1 (СПК-70) Уметь разрабатывать рекомендации по оптимизации затрат на обслуживание и развитию существующей сетевой ИТ-инфраструктуры, выбирать оптимальные решения в вопросах совершенствования сетевой ИТ-инфраструктуры и повышения качества предоставляемых сервисов.</p> <p>В1 (СПК-70) Владеть навыками моделирования поведения сети с высокой точностью, навыками разработки алгоритмов управления качеством сервиса в се-</p>

	тях.
--	------

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в Приложении.

6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов.

36 часов составляет контактная работа с преподавателем – 18 часов занятий лекционного типа, 18 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 0 часов индивидуальных консультаций, 0 часов мероприятий текущего контроля успеваемости, 0 часов групповых консультаций, 0 часов мероприятий промежуточной аттестации.

72 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.

7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями о принципах работы традиционных компьютерных сетей, программно-конфигурируемых компьютерных сетей в объеме, соответствующем основным образовательным программам бакалавриата и магистратуры по укрупненным группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика», 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки».

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используются мультимедийные средства представления лекционного материала.

9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель учебного курса – ознакомить студентов, специализирующихся в области программирования, с основами технологий обеспечения качества предоставляемого сервиса (Quality of Service, QoS) в компьютерных сетях для конечных пользователей. Основное внимание уделяется вопросам улучшения качества сервиса при помощи балансировки нагрузки, управления перегрузкой, демультимплексирования, сегментации.

Также рассматриваются вопросы моделирования компьютерных сетей и особенности применения рассмотренных подходов в сетях центрах обработки данных и в сетях доставки контента.

Курс состоит из нескольких частей:

- Введение
 - a. Определение качества сервиса
 - b. Показатели качества сервиса
 - c. Интегрированные сервисы с гарантированным качеством соединений
 - d. Дифференцированные сервисы
- Балансировка сетевого трафика
 - a. Классификация методов балансировки
 - b. Балансировка трафика между серверами
 - c. Балансировка на уровне L2
 - d. Балансировка на уровне L3
- Моделирование компьютерных сетей
 - a. Сетевое исчисление: основные понятия
 - b. Min-plus алгебра
 - c. Сетевое исчисление: оценки задержки и отставания
 - d. Детерминированное и стохастическое сетевое исчисление
 - e. Дискретно-событийное имитационное моделирование
 - f. Моделирование компьютерных сетей при помощи ns-3
- Современные алгоритмы управления перегрузкой
 - a. Определение перегрузки
 - b. Первые алгоритмы управления перегрузкой и их недостатки
 - c. Алгоритмы управления перегрузкой в наших ОС
 - d. DCTCP – алгоритм управления перегрузкой в ЦОД
 - e. Алгоритмы, развивающиеся в настоящее время
- Многопоточные протоколы транспортного уровня
 - a. Демультимплексирование как метод повышения скорости
 - b. Протокол SCTP
 - c. Протокол MPTCP (статический подход)
 - d. Динамический подход FDMP
 - e. Массовая многопоточность
- Принципы маршрутизации на уровне автономных систем
 - a. Классификация автономных систем

- b. Internet Exchange Points (IXP)
 - c. Remote Peering
 - d. Уменьшение стоимости транзита при помощи мультиплексирования
- Network Coding и сегментация
 - a. Цель сетевого кодирования
 - b. Основные понятия в сетевом кодировании
 - c. Основная теорема мультикаста
 - d. Модели сетевого кодирования
 - e. Недостатки сетевого кодирования
 - f. Сегментация транспортных соединений
- Обеспечение качества сервиса в центрах обработки данных
 - a. Топологии ЦОД
 - b. Планирование запросов в ЦОД
 - c. Планирование потоков данных в ЦОД
 - d. Оптимизация приложений под ЦОД
- Сети доставки контента (CDN)
 - a. Виды систем доставки контента
 - b. Адаптивная скорость передачи данных
 - c. Недостатки современных CDN
 - d. Виртуализация CDN
 - e. Telco CDN
 - f. Федерации CDN

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа обучающегося, часы			
		из них					из них			
		Занятия лекци-	Занятия семи-напско-	Группо-вые кон-	Инди-виду-	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего

						успеваемости (коллоквиумы, практические контрольные за- нятия и др)*				
Тема 1. Введение Определение качества сервиса Показатели качества сервиса Интегрированные сервисы с гарантированным качеством соединений Дифференцированные сервисы	2	2	-	-	-	-	2	-	-	0
Тема 2. Балансировка сетевого трафика Классификация методов балансировки Балансировка трафика между серверами Балансировка на уровне L2 Балансировка на уровне L3	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4
Тема 3. Моделирование компьютерных сетей	12	2	4	-	-	-	6	6	-	6

<p>Сетевое исчисление: основные понятия Min-plus алгебра. Сетевое исчисление: оценки задержки и отставания Детерминированное и стохастическое сетевое исчисление Дискретно-событийное имитационное моделирование Моделирование компьютерных сетей при помощи ns-3</p>										
<p>Тема 4. Современные алгоритмы управления перегрузкой</p> <p>Определение перегрузки Первые алгоритмы управления перегрузкой и их недостатки Алгоритмы управления перегрузкой в наших ОС DCTCP – алгоритм управления перегрузкой в ЦОД Алгоритмы, развивающиеся в настоящее время</p>	10	2	2	-	-	-	4	6	-	6

<p>Тема 5. Многопоточные протоколы транспортного уровня</p> <p>Демультимплексирование как метод повышения скорости Протокол SCTP Протокол MPTCP (статический подход) Динамический подход FDMP Массовая многопоточность</p>	6	2	2	-	-	-	4	12	-	12
<p>Тема 6. Принципы маршрутизации на уровне автономных систем</p> <p>Классификация автономных систем Internet Exchange Points (IXP) Remote Peering Уменьшение стоимости транзита при помощи мультимплексирования</p>	6	2	2	-	-	-	4	12	-	12
<p>Тема 7. Network Coding и сегментация</p> <p>Цель сетевого кодирования</p>	6	2	2	-	-	-	4	12	-	12

<p>ния</p> <p>Основные понятия в сетевом кодировании</p> <p>Основная теорема мультикаста</p> <p>Модели сетевого кодирования</p> <p>Недостатки сетевого кодирования</p> <p>Сегментация транспортных соединений</p>										
<p>Тема 8. Обеспечение качества сервиса в центрах обработки данных</p> <p>Топологии ЦОД</p> <p>Планирование запросов в ЦОД</p> <p>Планирование потоков данных в ЦОД</p> <p>Оптимизация приложений под ЦОД</p>	5	2	2	-	-	-	4	11	-	11
<p>Тема 9. Сети доставки контента (CDN)</p> <p>Виды систем доставки контента</p> <p>Адаптивная скорость передачи данных</p> <p>Недостатки современных CDN</p>	5	2	2	-	-	-	4	9	-	9

Виртуализация CDN Telco CDN Федерации CDN											
Итого	108	36						72			

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, подготовки к текущему контролю и промежуточной аттестации.

11. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная литература

- 1) Смелянский Р.Л. Компьютерные сети в 2 т. Т. 1. Системы передачи данных // М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 304 с.
- 2) Смелянский Р.Л. Компьютерные сети в 2 т. Т. 2. Сети ЭВМ // М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 240 с.

Дополнительная литература

- 1) Chemeritskiy E., Stepanov E., Smeliansky R. Managing network resources with flow (de) multiplexing protocol // Mathematical and Computational Methods in Electrical Engineering. — Vol. 53 of Recent Advances in Electrical Engineering Series. — WSEAS Press Sofia, Bulgaria, 2015. — P. 35–43.
- 2) Chemeritskiy E., Stepanov E., Smeliansky R. Managing network resources with flow (de) multiplexing protocol // Mathematical and Computational Methods in Electrical Engineering. — Vol. 53 of Recent Advances in Electrical Engineering Series. — WSEAS Press Sofia, Bulgaria, 2015. — P. 35–43.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Информационные технологии, используемые в процессе обучения

Нет

Материально-техническая база

Учебная аудитория, оснащенная мультимедийными средствами демонстрации.

12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Русский

13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ

д.ф.- м.н., чл.-корр. РАН, профессор Смелянский Руслан Леонидович (smel@cs.msu.su)
программист Степанов Евгений Павлович (estepanov@lvk.cs.msu.su)

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«Управление качеством сервиса в компьютерных сетях»**

Аттестация состоит из двух этапов – выполнения практического контрольных заданий, проверяющих приобретенные учащимся умения и навыки, и индивидуального собеседования, проверяющего приобретенные знания.

Средства для оценивания планируемых результатов обучения, критерии и показатели оценивания приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) <i>(критерии и показатели берутся из соответствующих карт компетенций, при этом пользуются либо традиционной системой оценивания, либо БРС)</i>					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично	
ЗНАТЬ: современные методы разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения Код 31 (ПК-2)	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных методах разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	В целом сформированные, но неполные знания о современных методах разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных методах разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	Сформированные систематические знания о современных методах разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	Устный экзамен
УМЕТЬ: применять современные методы	Отсутствие умений	Фрагментарные умения применять современные методы	В целом успешное, но не систематическое	Успешное, но содержащее отдельные	Сформированное умение применять современные методы	Отчет

разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения Код У1 (ПК-2)		разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	умение применять современные методы разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	пробелы умение применять современные методы разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	
ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения Код В1 (ПК-2)	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками оптимального выбора современных методов разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора современных методов разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора современных методов разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	Сформированное владение навыками оптимального выбора современных методов разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	Отчет
ЗНАТЬ: современные математические методы, применяющиеся для решения задач в области естественных наук,	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области ес-	В целом сформированные, но неполные знания о современных математических методах, применяющихся	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных математических мето-	Сформированные систематические знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в	Экзамен

экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий Код 31 (ОПК-1)		естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	дах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	
УМЕТЬ: применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики Код У1 (ОПК-1)	Отсутствие умений	Фрагментарные умения применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	В целом успешное, но не систематическое умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	Сформированное умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	Экзамен
ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики Код В1 (ОПК-1)	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	Сформированное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	Экзамен
31 (СПК-70) Знать: основные понятия и терминологию в области управления	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об основных понятиях и терминологии в	В целом сформированные, но неполные знания об основных	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы	Сформированные систематические знания об основных понятиях и	индивидуальное собеседование

<p>сетевыми ресурсами и качеством сервиса (QoS), основные показатели QoS, основные подходы к балансировке нагрузке, управлению перегрузкой, мультимплексированию/демультиплексированию и сегментации соединений</p>		<p>области управления сетевыми ресурсами и качеством сервиса (QoS), основных показателей QoS, основных подходах к балансировке нагрузке, управлению перегрузкой, мультимплексированию/демультиплексированию и сегментации соединений</p>	<p>понятиях и терминологии в области управления сетевыми ресурсами и качеством сервиса (QoS), основных показателях QoS, основных подходах к балансировке нагрузке, управлению перегрузкой, мультимплексированию/демультиплексированию и сегментации соединений</p>	<p>знания об основных понятиях и терминологии в области управления сетевыми ресурсами и качеством сервиса (QoS), основных показателях QoS, основных подходах к балансировке нагрузке, управлению перегрузкой, мультимплексированию и сегментации соединений</p>	<p>терминологии в области управления сетевыми ресурсами и качеством сервиса (QoS), основных показателей QoS, основных подходах к балансировке нагрузке, управлению перегрузкой, мультимплексированию и сегментации соединений</p>	
<p>У1 (СПК-70) Уметь разрабатывать рекомендации по оптимизации затрат на обслуживание и развитию существующей сетевой ИТ-инфраструктуры, выбирать оптимальные решения в вопросах совершенствования сетевой</p>	<p>Отсутствие умений</p>	<p>Фрагментарные умения разрабатывать рекомендации по оптимизации затрат на обслуживание и развитию существующей сетевой ИТ-инфраструктуры, выбирать оптимальные решения в вопросах совершенствования сетевой</p>	<p>В целом сформированное, но не систематическое умение разрабатывать рекомендации по оптимизации затрат на обслуживание и развитию существующей сетевой ИТ-инфраструктуры</p>	<p>Сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение разрабатывать рекомендации по оптимизации затрат на обслуживание и развитию существующей сетевой ИТ-инфраструктуры</p>	<p>Сформированное систематическое умение разрабатывать рекомендации по оптимизации затрат на обслуживание и развитию существующей сетевой ИТ-инфраструктуры, выбирать оптимальные решения в вопросах совершенствования сетевой</p>	<p>практическое контрольное задание</p>

вой ИТ-инфраструктуры и повышения качества предоставляемых сервисов.		вой ИТ-инфраструктуры и повышения качества предоставляемых сервисов.	ры, выбирать оптимальные решения в вопросах совершенствования сетевой ИТ-инфраструктуры и повышения качества предоставляемых сервисов.	ры, выбирать оптимальные решения в вопросах совершенствования сетевой ИТ-инфраструктуры и повышения качества предоставляемых сервисов.	шенствования сетевой ИТ-инфраструктуры и повышения качества предоставляемых сервисов.	
В1 (СПК-70) Владеть навыками моделирования поведения сети с высокой точностью, навыками разработки алгоритмов управления качеством сервиса в сетях.	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками моделирования поведения сети с высокой точностью, навыками разработки алгоритмов управления качеством сервиса в сетях.	В целом сформированное, но не систематическое владение навыками моделирования поведения сети с высокой точностью, навыками разработки алгоритмов управления качеством сервиса в сетях.	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками моделирования поведения сети с высокой точностью, навыками разработки алгоритмов управления качеством сервиса в сетях.	Сформированное систематическое владение навыками моделирования поведения сети с высокой точностью, навыками разработки алгоритмов управления качеством сервиса в сетях.	практическое контрольное задание

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Примерные практические контрольные задания для текущего контроля успеваемости.

1. Установить средство имитационного моделирования ns3 версии 3.27. Установить модификацию ns3 из <https://github.com/mark-claurool/bbr>, которая добавляет алгоритм управления перегрузкой BBR в среду имитационного моделирования ns3.
2. Написать модель топологии сети (два хоста, соединенных через маршрутизатор) в среде ns3. Параметры качества сервиса линий связи выставить таким образом, чтобы задержка распространения на каждом из них составляла 10мс, пропускная способность на линии,

- ближайшей к отправителю была равна 100Mbps, а на линии ближайшей к получателю – 50Mbps. Задать параметры TCP стека (начальный размер окна в 1, TCP порог в 1, размер сегмента в 1460 байт, размер буфера в 13107200 байт).
3. Создать два приложения BulkSender и PacketSink, которые будут взаимодействовать друг с другом. Добавить обработчик на изменение окна перегрузки для транспортного потока между этими приложениями.
 4. Запустить несколько экспериментов на передачу данных длительностью в минуту, задействуя разные алгоритмы управления перегрузкой (NewReno, Bic, Vegas, BBR). Построить графики изменения окна управления перегрузкой для всех указанных алгоритмов. Определить наиболее эффективный алгоритм для данной сети и объяснить, какие преимущества и недостатки перечисленных алгоритмов повлияли на эффективность.

Список вопросов для индивидуального собеседования на втором этапе аттестации.

1. Дайте определение качеству сервиса. Перечислите основные показатели качества сервиса.
2. Дайте определение дифференцированным и интегрированным сервисам. Приведите примеры этих сервисов.
3. Опишите базовое устройство и принципы работы сервера балансировки запросов на разных уровнях;
4. Опишите основные принципы балансировки потоков данных на уровнях L2 и L3 (TRILL, ECMP, VLB). Проблема реализации пакетной балансировки в рамках единственного потока данных;
5. Детерминированное и стохастическое сетевое исчисление. Основные понятия, оценка задержки и отставания. Min-plus алгебра.
6. NS3 как среда выполнения дискретно-событийных имитационных моделей. Преимущества и ограничения NS3 по сравнению со средами эмуляции работы сети на базе программных коммутаторов (Mininet);
7. Управление перегрузкой в TCP: причины появления и общие принципы работы.
8. Недостатки классических алгоритмов управления перегрузкой. Современные алгоритмы управления перегрузкой: TCP Cubic, TCP Compound, DCTCP, BBR;
9. Протокол SCTP: причины появления и базовые принципы работы;
10. Протокол MPTCP: базовое устройство и основные направления развития. Массовая многопоточность;
11. Устройство современного Интернет на уровне автономных систем. Классификация провайдеров, взаимоотношения между ними;
12. Базовое устройство и принципы работы точек обмена трафиком (IXP). Преимущества использования remote peering.
13. Network Coding: основная теорема, модели работы сети с использованием network coding.
14. Принцип resource pooling и проблемы его реализации в рамках Центров Обработки Данных (ЦОД). Принципы построения сетевых топологий для современных ЦОД;
15. Проблемы планирования потоков данных в ЦОД: обеспечение своевременной обработки потоков с требованиями реального времени, согласованная обработка связанных потоков.
16. Классификация систем доставки контента. Адаптивная передача видео с помощью DASH.

17. Недостатки современных CDN: фиксированная форма подачи контента и статичность инфраструктуры. Федеративные CDN: причины появления, архитектура;

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Оценка результатов обучения формируется из оценки за большое практическое задание в системе моделирования ns3 и итогового собеседования. Практическое задание оценивается в 40 баллов. На итоговом собеседовании можно набрать максимум 60 баллов. Таким образом, учащийся может суммарно набрать до 100 баллов. Итоговая сумма, не меньшая 80, соответствует оценке «отлично», от 60 до 79 – оценке «хорошо», от 40 до 59 – оценке «удовлетворительно», меньшая 40 – оценке «неудовлетворительно».