

**Правительство Российской Федерации**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»**

**Факультет Компьютерных наук  
Кафедра технологии моделирования сложных систем ИППИ РАН**

УТВЕРЖДАЮ  
Академический руководитель  
образовательной программы  
по направлению 01.04.02  
«Прикладная математика и информатика»  
С.О.Кузнецов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

**Программа дисциплины  
Математические основы современных телекоммуникаций**  
Для направления 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» подготовки  
магистров

Авторы программы:  
Кулешов А.П.-академик РАН, профессор кафедры ТМСС, зав кафедрой ([kuleshov@iitp.ru](mailto:kuleshov@iitp.ru));  
Осипов Д.С.-доцент ([d\\_osipov@iitp.ru](mailto:d_osipov@iitp.ru))

Одобрена на заседании  
Кафедры ТМСС

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

Зав.кафедрой



А.П.Кулешов

Рекомендована Академическим советом  
образовательной программы  
«Прикладная математика и информатика»

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

Менеджер кафедры ТМСС



И.И.Алескерова

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения подразделения разработчика программы*

## I. Пояснительная записка

### Автор программы

Академик РАН профессор, доктор технических наук Александр Петрович Кулешов.

### Требования к студентам

Изучение курса «Математические основы современных телекоммуникаций» требует предварительных знаний в объеме первых курсов стандартной бакалаврской программы по этой (010400.62) или смежной тематике. Необходимо знание элементов функционального анализа (понятие меры, метрические пространства, метод сжатых отображений, гильбертовы пространства, операторы, простейшие факты из спектральной теории).

### Аннотация

Дисциплина «Математические основы современных телекоммуникаций» предназначена для подготовки магистров 01.04.02 – Прикладная математика и информатика.

Краткое описание дисциплины. Цель курса – дать представление о математических задачах, возникающих при проектировании и разработке телекоммуникационных систем и о методах их решения.

### Учебные задачи курса

Цель курса.

В результате изучения дисциплины «Математические основы современных телекоммуникаций» студенты должны:

- знать основные понятия и методы математического моделирования телекоммуникационных систем;
- понимать математические принципы функционирования телекоммуникационных сетей;
- уметь решать основные типы задач, возникающих при моделировании телекоммуникационных систем и разобранных в курсе.

## II. Тематический план дисциплины «Математические основы современных телекоммуникаций»

№	Название темы	Всего часов по дисциплине	Аудиторные часы		Самостоятельная работа
			Лекции	Сем.и практика	
1	Введение. Телекоммуникационные сети как математический объект	34	4	6	24

2	Математическое моделирование каналов связи и систем коллективного доступа	38	8	6	24
3	Сети передачи данных и маршрутизация	36	8	8	20
	Итого	108	20	20	68

### III. Источники информации

Учебное пособие по курсу находится в процессе разработки.

#### Основная литература

1. Кудряшов, Б. Д. Теория информации: учебник для вузов. СПб.: Питер, 2009.
2. Proakis J., Salehi M., Digital Communications, 5th Edition, McGraw-Hill, 2007
3. Proakis J. G., Manolakis D. G.: Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications, Prentice Hall, 2007, 4th edition
4. Krouk E. and Semenov S. (ed.) Modulation and Coding Techniques in Wireless Communications. John Wiley & Sons. 1st edition. Chichester, UK, 2011.
5. Glisic S., Lorenzo B., Advanced Wireless Networks: 4G Cognitive Opportunistic and Cooperative Technology, 2ed, John Wiley and Sons, 2009.
6. Molisch A. F. Wireless Communications, 2nd Ed., John Wiley & Sons. Chichester, UK, 2011.
7. Кормен Т. Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ, 3-е издание — М.: «Вильямс», 2013.

### IV. Формы контроля и структура итоговой оценки

Текущий контроль – активность в учебной аудитории, выполнение домашних заданий;

Промежуточный контроль – 1 промежуточный экзамен (150 мин.) в конце третьего модуля;

Итоговый контроль – 1 экзамен (240 мин.) в конце четвертого модуля.

Преподаватель оценивает работу студентов на семинарских и практических занятиях: активность студентов на лекциях (вопросы лектору) и семинарских занятиях. Оценки за работу на семинарских и практических занятиях преподаватель выставляет в рабочую ведомость. Результирующая оценка по 10-ти балльной шкале за работу на семинарских и практических занятиях определяется перед промежуточным или итоговым контролем - *О<sub>аудиторная</sub>*.

Преподаватель оценивает самостоятельную работу студентов: (правильность выполнения домашних работ, задания для которых выдаются на семинарских занятиях). Оценки за самостоятельную работу студента преподаватель выставляет в рабочую ведомость. Результирующая оценка по 10-ти балльной шкале за самостоятельную работу определяется перед промежуточным или итоговым контролем – *О<sub>сам. работа</sub>*.

Результирующая оценка за текущий контроль в третьем модуле учитывает результаты студента по текущему контролю следующим образом:

$$O_{\text{текущий}} = 0,4 \cdot O_{\text{к/р}} + 0,3 \cdot O_{\text{аудиторная}} + 0,3 \cdot O_{\text{сам. работа}};$$

Результирующая оценка за промежуточный контроль в форме промежуточного экзамена в третьем модуле выставляется по следующей формуле, где  $O_{\text{пр/э}}$  – оценка за работу непосредственно на промежуточном экзамене:

$$O_{\text{промежуточный}} = 0,6 \cdot O_{\text{пр/э}} + 0,4 \cdot O_{\text{текущий}}$$

Результирующая оценка за текущий контроль в четвертом модуле учитывает результаты студента по текущему контролю следующим образом:

$$O_{\text{текущий}} = 0,4 \cdot O_{\text{дз}} + 0,3 \cdot O_{\text{аудиторная}} + 0,3 \cdot O_{\text{сам. работа}};$$

Результирующая оценка за итоговый контроль в форме экзамена выставляется по следующей формуле, где  $O_{\text{экзамен}}$  – оценка за работу непосредственно на экзамене:

$$O_{\text{итоговый}} = 0,6 \cdot O_{\text{экзамен}} + 0,4 \cdot O_{\text{текущий}}$$

На пересдаче студенту не предоставляется возможность получить дополнительный балл для компенсации оценки за текущий контроль.

На промежуточном экзамене студент может получить дополнительный вопрос (дополнительную практическую задачу, решить к пересдаче домашнее задание), ответ на который оценивается в 1 балл. Таким образом, результирующая оценка за промежуточный контроль в форме промежуточного экзамена, получаемая на пересдаче, выставляется по формуле

$$O_{\text{промежуточный}} = 0,4 \cdot O_{\text{пр/э}} + 0,4 \cdot O_{\text{текущий}} + 0,2 \cdot O_{\text{доп. вопрос}}$$

На экзамене студент может получить дополнительный вопрос (дополнительную практическую задачу, решить к пересдаче домашнее задание), ответ на который оценивается в 1 балл. Таким образом, результирующая оценка за итоговый контроль в форме экзамена, получаемая на пересдаче, выставляется по формуле

$$O_{\text{итоговый}} = 0,4 \cdot O_{\text{экзамен}} + 0,4 \cdot O_{\text{текущий}} + 0,2 \cdot O_{\text{доп. вопрос}}$$

В диплом ставится оценка за итоговый контроль, которая является результирующей оценкой по учебной дисциплине.

**Таблица соответствия оценок по десятибалльной и системе зачет/незачет**

Оценка по 10-балльной шкале	Оценка по 5-балльной шкале
1	незачет
2	
3	
4	зачет
5	
6	
7	
8	

9	
10	

**Таблица соответствия оценок по десятибалльной и пятибалльной системе**

<b>По десятибалльной шкале</b>	<b>По пятибалльной системе</b>
1 – неудовлетворительно 2 – очень плохо 3 – плохо	неудовлетворительно – 2
4 – удовлетворительно 5 – весьма удовлетворительно	удовлетворительно – 3
6 – хорошо 7 – очень хорошо	хорошо – 4
8 – почти отлично 9 – отлично 10 – блестяще	отлично – 5

## **V. Программа дисциплины «Математические основы современных телекоммуникаций»**

### **Тема 1. Введение. Телекоммуникационные системы как математические объекты.**

Общая структура системы связи. Факторы, влияющие на качество связи. Стратегии приема. Математические задачи возникающие при проектировании и исследовании систем связи.

Информация и неопределенность. Энтропия как мера неопределенности. Собственная информация, связь информации и энтропии. Взаимная энтропия.

Дискретные каналы без памяти. Пропускная способность канала по Шеннону и ее связь с взаимной информацией и скоростью передачи. Основная теорема кодирования для канала с шумами.

### **Тема 2. Математическое моделирование каналов связи и систем множественного доступа.**

Сигнально-кодовые конструкции и методы модуляции. Представление сигнала в виде комплексной функции, амплитуда и фаза, различные виды ортогональных базисов в гильбертовых пространствах и их использование в представлении сигнала. Методы цифровой модуляции. Теорема Котельникова.

Каналы связи: общая классификация. Особенности распространения сигнала в беспроводных каналах связи: факторы, влияющие на распространение сигналов, классификация изменений сигналов при их распространении. Математические модели беспроводных каналов связи. Замирания: классификация замираний и ее связь с параметрами системы связи. Линейный фильтр как модель канала с замираниями. Примеры распределений используемых при описании каналов с замираниями.

Быстрое преобразование Фурье: алгоритм Кули-Тьюки и его сложность. Мультиплексирование с использованием ортогональных частот (OFDM) и его использование

в современных системах связи. Математическая модель системы связи использующей OFDM.

Задача множественного доступа. Модели систем множественного доступа: модель с центральным узлом и модель без центрального узла. Прямой и обратный каналы и методы их разделения (TDD и FDD). Преимущества и недостатки TDD и FDD.

Кодовые методы разделения пользователей в системах множественного доступа. Причины использования кодовых методов. Методы выбора сигнатурных последовательностей и стратегии приема.

### **Тема 3. Сети передачи данных.**

Протоколы случайного доступа. ALOHA. Разрешение коллизий: алгоритм Капетанакиса-Цыбакова-Михайлова. Случайный доступ с прослушиванием среды: CSMA. Проблема "скрытых" и "засвеченных" станций.

Сети связи и потоковая модель сети связи. Элементы теории графов, понятие потока в графе, теорема Форда-Фалкерсона. Оценка пропускной способности сети через вычисление максимального потока в сети, алгоритмическая сложность задачи. Методы вычисления кратчайших путей в графе, алгоритм Дейкстры, его вычислительная сложность и связь с задачей маршрутизации в сетях.

## **VI. Тематика заданий по формам текущего контроля**

### **VII. Вопросы для оценки качества освоения дисциплины**

Задания для контрольных работ и домашние задания для текущего контроля, а также вопросы для оценки качества освоения дисциплины будут разработаны в ходе подготовки практических занятий.

### **VIII. Методические указания студентам**

Освоение курса требует настойчивой аналитической работы и самостоятельного решения задач.

Авторы программы: \_\_\_\_\_ / А. П. Кулешов /

\_\_\_\_\_ /Д.С.Осипов/