



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«МИРЭА — Российский технологический университет»

РТУ МИРЭА

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор

_____ Н.И. Прокопов
« ____ » _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

2.1.6 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

Научная специальность

2.2.15 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

Форма обучения

Очная

Москва 2025

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» являются:

1. Подготовка аспирантов к кандидатскому экзамену по специальности 2.2.15 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» в соответствии с программой кандидатского минимума и паспортом научной специальности с учетом ключевых направлений исследований.

2. Формирование системного взгляда на основные устройства и системы телекоммуникаций, освоение классических методов их расчета и моделирования, а также построения телекоммуникационных сетей.

3. Изучение перспективных направлений развития теории и техники телекоммуникаций.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Дисциплина «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» является обязательной дисциплиной образовательного компонента блока «Дисциплины (модули)» учебного плана научной специальности 2.2.15 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

3. Требования к результатам освоения дисциплины «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

В ходе освоения дисциплины «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» идет дальнейшее формирование элементов (знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности) аспиранта:

способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, способность к пониманию основных проблем в своей предметной области, выбору методов и средств их решения;

способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой своих исследований;

способность анализировать состояние научно-технической проблемы, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию по теме исследований;

способность оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследований.

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

фундаментальную теорию передачи информации, модуляции и кодирования, методы анализа и исследования основных алгоритмов обработки сигналов в системах передачи информации, способы аналоговой и цифровой реализации этих алгоритмов.

Уметь:

выполнять синтез и анализ основных алгоритмов обработки сигналов, проводить лабораторные и натурные экспериментальные исследования, а также компьютерное моделирование входящих в телекоммуникационную систему устройств и систем в целом.

Владеть:

научно-техническими методами проектирования, разработки, моделирования систем, сетей и устройств телекоммуникаций.

4. Содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» составляет 3 зачетных единицы (108 акад. часов).

4.1. Распределение объема дисциплины по разделам (темам), семестрам, видам учебной работы и формам контроля.

№ раздела	Семестр	Неделя семестра	Объем (в акад. час.)							Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)	
			Всего	Контактная работа (по видам учебных занятий)				СР	Контроль		
				Всего	ЛК	ПР	СР под рук.				
1	4	1	6	2	2			2		Устное собеседование	
1	4	2	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
1	4	3	6	2	2			2		Устное собеседование	
1	4	4	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
2	4	5	6	2	2			2		Устное собеседование	
2	4	6	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
3	4	7	6	2	2			2		Устное собеседование	
3	4	8	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
3	4	9	6	2	2			2		Устное собеседование	
3	4	10	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
4	4	11	6	2	2			2		Устное собеседование	
4	4	12	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
4	4	13	6	2	2			2		Устное собеседование	
4	4	14	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
5	4	15	6	2	2			2		Устное собеседование	
5	4	16	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
6	4	17	6	2	2			2		Устное собеседование	
6	4	18	6	2		2		2	4	Выполнение практических	

№ раздела	Семестр	Неделя семестра	Объем (в акад. час.)						Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)	
			Всего	Контактная работа (по видам учебных занятий)				СР		Контроль
				Всего	ЛК	ПР	СР под рук.			
									заданий	
По материалам курса			16					16	Экзамен	
Всего в 4 семестре:			108	36	18	18	0	36	36	
Всего:			108	36	18	18	0	36	36	

4.2. Наименование и содержание разделов дисциплины

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
1	Введение: радиоканалы и сигналы передачи информации.	Аддитивные и мультипликативные помехи. Математическое описание основных видов радиоканалов и сигналов. Основные задачи теории помехоустойчивости.
2	Оптимальные приемники полностью известных сигналов	Оптимальный по критерию минимума среднего риска приемник с полностью известными параметрами: синтез, структура, вероятности ошибок первого и второго родов. Оптимальный и квазиоптимальные фильтры. Приемники сигналов АТ, ЧТ и ФТ: алгоритмы работы и помехоустойчивость приема. Небайесовские приемники.
3	Оптимальные приемники сигналов со случайными параметрами	Оптимальные по критерию минимума среднего риска приемники со случайной начальной фазой, частотой, с замираниями. Приемники сигналов АТ, ЧТ и ОФТ. Структуры, помехоустойчивость приема. Цифровая реализация алгоритмов приема.
4	Синхронизация в цифровых системах передачи информации	Виды синхронизации в цифровых системах передачи информации: фазовая, тактовая, цикловая и др. Оптимальная фильтрация непрерывных параметров в системах передачи информации. Оптимальная фильтрация дискретно-непрерывных марковских процессов.
5	Кодирование в цифровых системах передачи информации	Избыточность источника сообщения. Методы уменьшения избыточности. Теорема К. Шеннона о кодировании источника. Кодирование речевых сигналов и сигналов видео изображений. Задача помехоустойчивого кодирования. Классификация помехоустойчивых кодов. Блочные коды и их декодирование. Примеры важнейших блочных кодов. Циклические коды, методы их декодирования. Свёрточные коды, их классификация и основные характеристики. Методы декодирования свёрточных

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		кодов.
6	Перспективные технологии передачи цифровой информации	Новые цифровые сигналы в системах передачи информации: QAM, OFDM, SQPSK, SOQPSK, FOQPS, CPM и др. Методы модуляции и демодуляции. Мягкие демодуляторы. Демодулятор Витерби. Демодуляторы с обратной связью по решению. Современные помехоустойчивые коды: LDPC, турбокоды производства. Декодеры с мягкими входами. Системы ММО.

4.3. Лабораторные работы (ЛБ)

Учебным планом не предусмотрены.

4.4. Практические занятия (ПР)

№ п/п	Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (в акад. часах)
1	1	Компьютерное моделирование каналов передачи цифровой информации	4
2	2	Расчет квазиоптимальных фильтров. Определение помехоустойчивости когерентных алгоритмов.	2
3	3	Синтез алгоритма некогерентного приема сигналов с релеевской огибающей и равномерно распределенной начальной фазой, определение его помехоустойчивости.	4
4	4	Компьютерное моделирование системы тактовой синхронизации.	4
5	5	Разработка кодера и декодера блочного кода. Компьютерное моделирование алгоритма Витерби.	2
6	6	Разработка когерентного алгоритма демодуляции сигнала SOQPSK/	2
Всего:			18

5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Виды самостоятельной работы обучающегося, порядок и сроки ее выполнения:

подготовка к лекциям и практическим занятиям с использованием конспекта лекций, материалов практических занятий и приведенных ниже (п 8.1 и 8.2) источников (в соответствии с расписанием занятий);

оформление отчетов по выполненным практическим заданиям и теоретическая подготовка к их сдаче (в соответствии с расписанием занятий).

Перечень вопросов для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации — в соответствии с тематикой дисциплины.

6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

6.1. Описание показателей и критериев оценивания знаний, умений и владений на различных этапах их формирования, описание шкал оценивая

6.1.1. Показатели и критерии оценивания, используемые шкалы оценивания

Показатели оценивания	Критерии оценивания	Средства оценивания	Шкалы оценивания
Умение	Правильность выполнения учебных заданий, аргументированность выводов	<i>Текущий контроль:</i> выполнение устных/письменных заданий, тестирование <i>Промежуточная аттестация:</i> экзамен	Шкала 1
Знание	Правильность и полнота ответов, глубина понимания вопроса	<i>Текущий контроль:</i> выполнение устных/письменных заданий, тестирование <i>Промежуточная аттестация:</i> экзамен	Шкала 1
Владение	Обоснованность и аргументированность выполнения учебной деятельности	<i>Текущий контроль:</i> выполнение практического задания, тестирование <i>Промежуточная аттестация:</i> экзамен	Шкала 2

6.1.2. Описание шкал оценивания степени сформированности знаний, умений и владений

Шкала 1. Оценка сформированности знаний, умений и владений

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности знаний, умений и владений		
Цифр.	Оценка			
		Знать	Уметь	Владеть
1	Неудовлетворительно	Отсутствие знаний	Отсутствие умений	Отсутствие навыков
2	Неудовлетворительно	Фрагментарные знания	Частично освоенное умение	Фрагментарное применение
3	Удовлетворительно	Общие, но не структурированные знания	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение	В целом успешное, но не систематическое применение
4	Хорошо	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	В целом успешное, но содержащие отдельные	В целом успешное, но содержащее отдельные

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности знаний, умений и владений		
Цифр.	Оценка			
		Знать	Уметь	Владеть
			пробелы умение	пробелы применение навыков
5	Отлично	Сформированные систематические знания	Сформированное умение	Успешное и систематическое применение навыков

Шкала 2. Комплексная оценка сформированности знаний, умений и владений

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности знаний, умений и владений
Цифр.	Оценка	
1	Неудовлетворительно	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале
2	Удовлетворительно или неудовлетворительно <i>(по усмотрению преподавателя)</i>	Знать на уровне ориентирования , представлений. Субъект учения знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает их в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения
3	Удовлетворительно	Знать и уметь на репродуктивном уровне. Субъект учения знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях
4	Хорошо	Знать, уметь, владеть на аналитическом уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения
5	Отлично	Знать, уметь, владеть на системном уровне. Субъект учения знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания учебной дисциплины, его значимость в содержании учебной дисциплины

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования знаний, умений и владений в процессе освоения образовательной программы.

Типовые вопросы и задания для текущего контроля (оценка

сформированности элементов (знаний, умений, навыков) в рамках текущего контроля по дисциплине) по разделам дисциплины

Примеры вопросов по теме 1:

1. Дать определение аддитивных и мультипликативных помех.
2. Математическое описание белого гауссовского шума.
3. Физические причины и математическое описание замираний в декаметровом канале.

Пример практического задания по теме 1:

Рассчитать евклидово расстояние между двух-, четырех- и восьмипозиционными сигналами ФТ.

Примеры вопросов по теме 2:

1. Что такое средний риск в задаче оптимального приема полностью известных сигналов?
2. Какие ограничения должны выполняться при синтезе байесовского приемника?
3. Сформулируйте критерий Неймана-Пирсона.

Пример практического задания по теме 2:

Рассчитать среднюю вероятность ошибки при приеме сигналов ФТ с девиацией фазы $\pm 60^\circ$. Сравнить результат со случаем приема противоположных сигналов.

Примеры вопросов по теме 3:

1. Чем физически объясняется нечувствительность некогерентных алгоритмов приема к начальной фазе?
2. Почему при приеме сигналов ДОФТ происходит спаривание ошибок?
3. Как технически устранить спаривание ошибок при приеме сигналов ДОФТ?

Пример практического задания по теме 3:

Доказать, что сигнал на выходе одного плеча квадратурного некогерентного демодулятора представляет собой огибающую сигнала на выходе согласованного фильтра.

Примеры вопросов по теме 4:

1. Виды систем синхронизации в приемнике цифровых сигналов.
2. Для чего используется скремблирование потока передаваемых данных?
3. Изобразите структурную схему демодулятора сигналов ФТ с обратной связью по решению.

Пример практического задания по теме 4:

С помощью компьютерной модели при отношениях сигнал/шум от 0,1 до 10,0 оценить джиттер тактовой сетки в системе тактовой синхронизации со сдвигом перемножаемой последовательности на половину тактового интервала.

Примеры вопросов по теме 5:

1. В чем различие сверточных и блочных кодов?
2. Какой код называется систематическим?

3. При какой избыточности блочного кода обнаруживаются две ошибки и при какой исправляются?

Пример практического задания по теме 5:

Введите на решетчатой диаграмме сверточного кода одну ошибку и покажите, как с помощью алгоритма Витерби она исправляется.

Примеры вопросов по теме 6:

1. Чем физически обусловлено преимущество систем MIMO перед системами SISO?

2. Каковы основные достоинства сигнала OFDM?

3. Какова цель использования псевдотрехного кодирования при формировании сигнала SOQPSK?

Пример практического задания по теме 6:

С помощью компьютерной модели оцените спектры сигнала QPSK, OQPSK, SOQPSK. Сформулируйте выводы по полученных результатам.

Перечень вопросов для подготовки к экзамену (оценка сформированности элементов (знаний, умений, навыков) в рамках промежуточной аттестации по дисциплине).

1. Математическое описание основных видов радиоканалов и сигналов.
2. Источники помех в системах радиосвязи.
3. Основные задачи теории оптимальных методов приема: обнаружение, различение, оценка параметров, фильтрация, разрешение сигналов. Задачи анализа и синтеза.

4. Понятие среднего риска. Синтез приемников полностью известных сигналов, оптимальных по критерию минимума среднего риска.

5. Вывод выражения для отношения правдоподобия при приеме двоичных полностью известных сигналов.

6. Вероятности ошибок первого и второго родов в оптимальном когерентном приемнике.

7. Оптимальный приемник Котельникова, средняя вероятность ошибки для произвольных сигналов и сигналов АТ, ЧТ, ФТ.

8. Приемник обнаружения, оптимальный по критерию Неймана-Пирсона.

9. Кривые обнаружения и рабочие характеристики приемника.

10. Последовательный обнаружитель.

11. Оптимальные байесовские приемники сигналов со случайной начальной фазой.

12. Вероятности ошибок первого и второго родов в оптимальном некогерентном приемнике.

13. Оптимальный приемник Неймана-Пирсона сигналов со случайной начальной фазой.

14. Оптимальные байесовские приемники сигналов со случайными начальной фазой и огибающей.

15. Оптимальный приемник Неймана-Пирсона сигналов со случайной начальной фазой и огибающей.
16. Алгоритм максимума правдоподобия последовательности для оптимального приема сигналов МНФ.
17. Алгоритмы максимума правдоподобия символа для оптимального приема сигналов МНФ.
18. Алгоритмы приема сигналов МНФ с обратной связью по решению.
19. Применение алгоритма Витерби при оптимальном приеме сигналов МНФ.
20. Согласованный фильтр.
21. Квазиоптимальный фильтр.
22. Фильтр Калмана.
23. Оптимальная нелинейная фильтрация дискретно-непрерывных марковских сигналов. Алгоритм фильтрации.
24. Оптимальная нелинейная фильтрация дискретно-непрерывных марковских сигналов. Алгоритм переприсвоения.
25. Блочные коды: структура кодового слова, порождающая матрица, проверочная матрица, синдром.
26. Турбокоды произведения. Методы декодирования.
27. Коды LDPC. Методы декодирования.
28. Сверточные коды. Алгоритм Фано.
29. Сверточные коды, Алгоритм декодирования Витерби.
30. Назначение и основные характеристики систем синхронизации в приемнике цифровых сигналов.
31. Скремблирование потока передаваемых данных: назначение и реализация.
32. Перемежение передаваемых символов: назначение и реализация.
33. Разнесенный прием, методы разнесения.
34. Додетекторное сложение разнесенных сигналов.
35. Последетекторное сложение разнесенных сигналов.
36. Системы ММО.
37. Широкополосные системы передачи цифровой информации: области применения и виды.
38. Системы ППРЧ с посимвольной и внутрисимвольной перестройкой рабочей частоты.
39. Широкополосные системы с прямым расширением спектра.
40. Методы борьбы с межсимвольными помехами. Оптимальный прием, адаптивная коррекция канала.

6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности.

**Процедуры и средства оценивания элементов знаний, умений и владений
по дисциплине «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»**

Процедура проведения	Средство оценивания				
	Текущий контроль				Промежуточный контроль
	Выполнение устных заданий	Выполнение письменных заданий	Выполнение практических заданий	Выполнение тестовых заданий	Экзамен
Продолжительность контроля	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	В соответствии с принятыми нормами времени
Форма проведения контроля	Устный опрос	Письменный опрос	Письменный опрос	Письменный опрос	В письменной форме
Вид проверочного задания	Устные вопросы	Письменные задания	Практические задания	Письменный опрос	Экзаменационный билет
Форма отчета	Устные ответы	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме
Раздаточный материал	Нет	Справочная литература	Справочная литература	Справочная литература	Справочная литература

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Дисциплина «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» предусматривает лекции и практические занятия. Успешное изучение дисциплины требует посещения лекций, активной работы на практических занятиях, выполнения учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на практическое занятие и указания на самостоятельную работу.

При подготовке к лекционным занятиям аспирантам необходимо: перед очередной лекцией необходимо просмотреть конспект материала предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к лектору (по графику его консультаций) или к преподавателю на практических занятиях.

Практические занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, а также для контроля преподавателем степени подготовленности аспирантов по изучаемой дисциплине.

При подготовке к практическому занятию аспиранты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя.

При подготовке к практическим занятиям аспирантам необходимо:
приносить с собой рекомендованную преподавателем литературу к конкретному занятию;

до очередного практического занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия;

в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения;

в ходе семинара давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов;
на занятии доводить каждую задачу до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю.

Аспирантам, пропустившим занятия (независимо от причин), не имеющие письменного решения задач или не подготовившиеся к данному практическому занятию, рекомендуется не позже чем в 2-недельный срок явиться на консультацию к преподавателю и отчитаться по теме, изучавшейся на занятии. Аспиранты, не отчитавшиеся по каждой не проработанной ими на занятиях теме к началу экзаменационной сессии, не допускаются к экзамену.

8. Ресурсное обеспечение дисциплины

8.1. Основная и дополнительная учебная литература, необходимая для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Елисеев А. В., Погорелова В. А., Строцев А. А., Хуторцев В. В. Теоретические основы телекоммуникационных радиотехнических систем и устройств. — М.: Физматлит, 2023. — 448 с.

2. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Коваль В.А., Девяткин Е.Е. Развитие сетей мобильной связи от 5G Advanced к 6G: проекты, технологии, архитектура. 2-е изд.доп. — М.: Техносфера, 2024 — 368 с.

3. ,Системы и сети передачи информации. Учебное пособие для вузов. Под ред. Мазепы Р.Б. М.: Изд. МАИ 2021 — 312 с.

4. Сизых В.В., Шахтарин Б.И. Случайные процессы в радиотехнике и автоматике. — М.: Горячая линия-Телеком, 2020. — 285 с.

5. Билятдинов К.З., Арсеньева А.З., Меняйло В.В., Ивановский С.В. Основы построения и функционирования мобильных систем передачи данных: учебное пособие – СПб: ИТМО, 2023. — 157 с.

б) дополнительная литература:

6. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических систем и устройств. М.: Горячая линия — Телеком, 2021. — 608 с.

7. Сергиенко А.Б., Ушаков В.Н., Иванов М.Т. Радиотехнические цепи и

сигналы. — М.: Питер, 2019. — 336 с.

8. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, второе издание: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. — 1104 с.

9. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. — М.: Вильямс, 2018. — 992 с.

10. Прокис Дж. Цифровая связь: Пер. с англ. / Дж. Прокис; Д.Д. Кловский. — М.: Радио и связь, 2000. — 800 с.

8.2. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимые для освоения дисциплины

1. <http://library.mirea.ru/>

научно-техническая библиотека РТУ МИРЭА

2. <https://e.lanbook.com/>

электронно-библиотечная системы (ЭБС) Издательства «Лань»

3. <https://passport.rsl.ru/>

Российская государственная библиотека

8.3. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем:

- пакет офисных программ Microsoft Office;
- пакет офисных программ LibreOffice;
- пакет прикладных программ инженерно-научных расчетов и численного моделирования Scilab;
- среда для разработки программного обеспечения Qt Creator 5.6.

8.4. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

- учебно-научные лаборатории кафедры радиоэлектронных систем и комплексов Института радиоэлектроники и информатики
- учебная аудитория;
- компьютерный класс.