Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Артеменков Михаил Николаевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 09.11.2026 18:40:57
Уникальный программный ключ:
a63b74166e8f4fc17bd1e0462725f79e393bfdf9

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Смоленский государственный университет»

Кафедра радиотехники

«Утверждаю»
Проректор по учебно-методической
деятельности
_____Ю.А. Устименко
«25» декабря 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.О.12 Математическое моделирование радиотехнических систем

Направление подготовки **01.04.02 Прикладная математика и информатика**
Направленность (профиль) **Математическое и программное обеспечение цифровых радиотехнических систем и комплексов**

Форма обучения: очная
Курс – 1
Семестр – 3
Всего зачетных единиц – 3; часов – 108
Форма отчетности: экзамен – 3 семестр.

Программу разработал: кандидат технических наук, доцент Э.Л. Царегородцев

Одобрена на заседании кафедры
«02» сентября 2025 г., протокол № 1

Заведующий кафедрой _____ Зайцев А.В.

Смоленск
2025

1. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Математическое моделирование радиотехнических систем» включена в обязательную часть образовательной программы по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика (направленность (профиль) – Математическое и программное обеспечение цифровых радиотехнических систем и комплексов).

Для освоения дисциплины «Математическое моделирование радиотехнических систем» студент должен обладать базовыми знаниями, умениями и навыками, полученными в результате изучения школьного курса физики и математики и дисциплин подготовки бакалавра в области радиотехники.

Изучение дисциплины «Математическое моделирование радиотехнических систем» позволяет создать условия, необходимые для формирования у студентов современного естественнонаучного мировоззрения и целостной научной картины мира, а также заложить фундамент для более глубокого понимания и осмысленного применения специальных знаний в различных областях науки. В результате изучения дисциплины «Математическое моделирование радиотехнических систем» студенты приобретают знания основ теории и практики математического описания явлений, объектов и систем различной физической природы, классификации и назначение математических моделей, основ представления устройств и систем в виде математических объектов, принципов разукрупнения больших систем, математических и алгоритмических основ численного моделирования; умения представлять существующие и перспективные устройства и системы в виде структурных моделей, отражающих их внутреннюю организацию; навыки владения инструментами математического и компьютерного моделирования устройств и систем на различных уровнях, включая преобразование случайных сигналов и потоков данных элементами устройств и систем радиотехнического назначения.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индикаторы достижения
ОПК-1. Способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики	**Знает**: современный аппарат математики и базовые методики и алгоритмы его применения для решения актуальных задач фундаментальной и прикладной математики. **Умеет**: выбирать необходимые методы решения и решать задачи фундаментальной и прикладной математики. **Владеет**: навыками решения базовых задач фундаментальной и прикладной математики.
ОПК-2. Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	**Знает**: современный аппарат фундаментальной и прикладной математики, методы решения базовых прикладных задач и основные алгоритмы их совершенствования и модификации для решения прикладных задач. **Умеет**: совершенствовать и реализовывать новые математические методы, необходимые для решения конкретных прикладных задач. **Владеет**: навыками использования полученных теоретических сведений для создания и реализации новых математических методов решения прикладных задач.
ОПК-3. Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности	**Знать**: базовые методы разработки, анализа, модификации и применения математических моделей, современные методы математического моделирования в решении прикладных задач; **Уметь**: применять аппарат математического моделирования для решения прикладных задач; **Владеть:** навыками работы с инструментальными средствами математического моделирования предметной области, прикладных и информационных процессов.

ПК-1. Способен к проведению научных исследований, включая постановку задачи исследования, моделирование объектов и процессов в целях оптимизации их параметров, проведение экспериментальных исследований и подготовку отчетов и публикаций	**Знает**: принципы подготовки и проведения научных исследований, математические и информационные модели, методы моделирования сигналов, процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиотехнических систем и комплексов, методы разработки эффективных алгоритмов решения научно-исследовательских задач, способы организации и проведения экспериментальных исследований. **Умеет**: планировать порядок проведения научных исследований, формулировать и решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы для анализа, синтеза и моделирования радиотехнических систем и комплексов, применять алгоритмы решения исследовательских задач с использованием современных языков программирования, самостоятельно проводить экспериментальные исследования. **Владеет**: навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования, математическим аппаратом для решения задач теоретической и прикладной радиотехники, методами исследования и моделирования объектов радиотехники, навыками разработки стратегии и методологии исследования радиотехнических систем и комплексов, навыками проведения исследования с применением современных средств и методов.
ПК-2. Способен проектировать программное и информационное обеспечение, вычислительные модели и модели данных для реализации элементов новых (или известных) программных продуктов в области цифровых радиотехнических систем и комплексов	**Знает:** структуру программного обеспечения, основные требования к его проектированию, методики разработки и анализа блок-схем алгоритмов, современные языки программирования, технологии программирования. **Умеет:** проектировать программное и информационное обеспечение в области цифровых радиотехнических систем и комплексов, формулировать требования к программным продуктам, создавать блок-схемы алгоритмов функционирования разрабатываемых программных продуктов, оценивать их вычислительную сложность. **Владеет:** методами и приемами формализации и алгоритмизации поставленных проектных задач по созданию программного обеспечения.

3. Содержание дисциплины

Введение. Тенденция развития радиотехнических систем и методов их исследования. Проблемная ситуация при создании сложных радиотехнических систем, обусловленная ограниченностью аналитических и экспериментальных методов исследования. Способы применения ЭВМ - численный анализ и математическое моделирование. Основные направления и области применения ЭВМ при создании и использовании радиотехнических систем. Физическое, математическое и смешанное моделирование. Схема организации процесса моделирования. Функциональный принцип моделирования. Понятие о методе статистических испытаний. Отечественные разработки в сфере теории и практики математического моделирования технических объектов.

Математические модели сигналов и шумов. Классификация сигналов: по физической природе, характеру изменения, непрерывности, полосе частот, назначению. Представление сигналов функциональное, векторное, квадратурное. Спектральные представления сигналов, преобразования Фурье и Лапласа. Модели шумов: белый, цветной, гауссовский, импульсный. Влияние шумов на передаваемый сигнал, модели радиоканалов с шумами.

Линейные и нелинейные радиотехнические цепи. Типы радиотехнических цепей и их математические модели: уравнения состояния и передаточная функция. Описание переходных процессов во временной и частотно й областях. Особенности описания нелинейных цепей. Основные методы математического описания нелинейных цепей.

Моделирование антенн и линий передачи. Основные параметры антенных систем: коэффициент усиления, диаграмма направленности, поляризация. Уровни моделирования антенных систем: аналитическое, численное, имитационное. Современные методы моделирования. Линии передачи: типы и основные параметры. Особенности математического описания линии передачи при моделировании радиотехнических систем. Описание влияния внешних факторов при математическом моделировании. Моделирование приема сверхширокополосного сигнала различными типами антенных систем.

Имитационное моделирование радиосистем. Основные принципы имитационного моделирования. Подходы к моделированию радиотехнических систем: системное, функциональное, схемотехническое, физическое. Основные элементы математической системы. Основные элементы имитационной модели радиотехнической системы: источник сигнала, передатчик, среда распространения, приемник, блок обработки сигнала. Модели каналов передачи радиосигналов. Оценка качества радиоканала. Примеры имитационных моделей радиотехнических систем.

Моделирование адаптивных радиотехнических систем. Особенности адаптивных радиотехнических систем. Задачи, решаемые с применением адаптивных радиотехнических систем. Математические модели адаптивных радиотехнических систем: АФАР, канал связи с изменяемым типом модуляции, система минимизации мощности канала связи с требуемым отношением сигнал/шум на выходе приемника.

Помехоустойчивость и ошибки в РТС. Помехоустойчивость и помехозащищенность. Источники шумов, особенности моделирования генератора шума заданного типа. Описание влияния источников шума на радиотехнические системы. Методы повышения помехоустойчивости.

Комплексное моделирование РТС. Задачи комплексного моделирования радиотехнических систем. Подходы к комплексному моделированию. Примеры комплексных моделей радиотехнических систем: цифровая система связи, радиолокационная станция, спутниковая система связи, система радиотехнической разведки и подавления.

4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий			
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1.	Введение	7	1	–	–	6
2.	Математические модели сигналов и шумов	9	1	2	–	6
3.	Линейные и нелинейные радиотехнические цепи	12	2	2		8
4.	Моделирование антенн и линий передачи	10	2	2	–	6
5.	Имитационное моделирование радиосистем	10	2	2	–	6
6.	Моделирование адаптивных радиотехнических систем	12	2	2	–	8
7.	Помехоустойчивость и ошибки в РТС	10	2	2	–	6
8.	Комплексное моделирование РТС	11	2	2	–	7
	Экзамен	**27**	**–**	**–**	**–**	**27**
	ИТОГО	**108**	**14**	**14**	**–**	**53+27**

5. Виды учебной деятельности

Занятия лекционного типа

Лекция № 1. *Введение. Математические модели сигналов и шумов.* Тенденция развития радиотехнических систем и методов их исследования. Проблемная ситуация при создании сложных радиотехнических систем, обусловленная ограниченностью аналитических и экспериментальных методов исследования. Способы применения ЭВМ - численный анализ и математическое моделирование. Основные направления и области применения ЭВМ при создании и использовании радиотехнических систем. Физическое, математическое и смешанное моделирование. Схема организации процесса моделирования. Функциональный принцип моделирования. Понятие о методе статистических испытаний. Отечественные разработки в сфере теории и практики математического моделирования технических объектов. Классификация сигналов: по физической природе, характеру изменения, непрерывности, полосе частот, назначению. Представление сигналов функциональное, векторное, квадратурное. Спектральные представления сигналов, преобразования Фурье и Лапласа. Модели шумов: белый, цветной, гауссовский, импульсный. Влияние шумов на передаваемый сигнал, модели радиоканалов с шумами.

Лекция № 2. *Линейные и нелинейные радиотехнические цепи.* Типы радиотехнических цепей и их математические модели: уравнения состояния и передаточная функция. Описание переходных процессов во временной и частотно й областях. Особенности описания нелинейных цепей. Основные методы математического описания нелинейных цепей.

Лекция № 3. *Моделирование антенн и линий передачи.* Основные параметры антенных систем: коэффициент усиления, диаграмма направленности, поляризация. Уровни моделирования антенных систем: аналитическое, численное, имитационное. Современные методы моделирования. Линии передачи: типы и основные параметры. Особенности математического описания линии передачи при моделировании радиотехнических систем. Описание влияния внешних факторов при математическом моделировании.

Лекция № 4. *Имитационное моделирование радиосистем.* Основные принципы имитационного моделирования. Подходы к моделированию радиотехнических систем: системное, функциональное, схемотехническое, физическое. Основные элементы математической системы. Основные элементы имитационной модели радиотехнической системы: источник сигнала, передатчик, среда распространения, приемник, блок обработки сигнала. Модели каналов передачи радиосигналов. Оценка качества радиоканала. Примеры имитационных моделей радиотехнических систем.

Лекция № 5. *Моделирование адаптивных радиотехнических систем.* Особенности адаптивных радиотехнических систем. Задачи, решаемые с применением адаптивных радиотехнических систем. Математические модели адаптивных радиотехнических систем: АФАР, канал связи с изменяемым типом модуляции, система минимизации мощности канала связи с требуемым отношением сигнал/шум на выходе приемника.

Лекция № 6. *Помехоустойчивость и ошибки в РТС.* Помехоустойчивость и помехозащищенность. Источники шумов, особенности моделирования генератора шума заданного типа. Описание влияния источников шума на радиотехнические системы. Методы повышения помехоустойчивости.

Лекция № 7. *Комплексное моделирование РТС.* Задачи комплексного моделирования радиотехнических систем. Подходы к комплексному моделированию. Примеры комплексных моделей радиотехнических систем: цифровая система связи, радиолокационная станция, спутниковая система связи, система радиотехнической разведки и подавления.

Занятия семинарского типа (Практические занятия)

Практическое занятие №1. *Математические модели сигналов и шумов*

Вопросы для подготовки к занятию*:*

1. Понятие сигнала в радиотехнике.
2. Энергия и мощность сигналов.

3. Причины возникновения шумов в радиоканале.
4. Характер влияния шумов на полезный сигнал в радиотехнических системах.
5. Свертка и корреляция.
6. Теорема Котельникова.

Задачи для самостоятельного решения:

Задача №1. Создать модель гармонического сигнала в среде математического моделирования MATLAB. Мощность сигнала 2 Вт, сопротивление источника сигнала 50 Ом, длительность 5 мс, частота дискретизации 100 мкс. Частота колебания – 1 КГц.

Задача №2. Сгенерировать линейно-частотно-модулированный сигнал (ЧМ-сигнал) длительностью 2 мс, начальная частота — 1 кГц, конечная частота — 3 кГц. Построить график изменения частоты во времени.

Задача №3. Смоделировать передачу бинарного сигнала через канал с белым шумом: использовать BPSK-модуляцию, построить график BER от Eb/N0 для диапазона от 0 до 15 дБ, сравнить результат с теоретической кривой.

Задачи для решения на занятии:

Задача №1. Построить спектр гармонического сигнала с частотой 2 кГц. Сравнить спектр до и после добавления белого шума.

Задача №2. Сгенерировать два сигнала: первый — чистый гармонический сигнал; второй — тот же сигнал + шум. Построить их спектры и определить, на какой частоте уровень шума становится сравнимым с амплитудой сигнала.

Задача №3. Смоделировать сигнал с фазовой модуляцией (PM): несущая частота — 5 кГц, частота модуляции — 500 Гц, индекс модуляции — 2. Построить временной сигнал и его спектр.

Задача №4. Смоделировать сигнал с шумоподобной модуляцией (PN-секвенция). Построить: автокорреляционную функцию PN-последовательности, её спектр. Сделать вывод о равномерности спектра.

Задача №5. Сгенерировать сигнал и пропустить его через два канала: канал с аддитивным белым шумом, Рэлеевский канал. Построить зависимости BER от SNR для обоих каналов и сравнить результаты.

Практическое занятие №2. *Линейные и нелинейные радиотехнические цепи*

Вопросы для подготовки к занятию*:*

1. Понятие линейной цепи в радиотехнике.
2. Основные признаки и свойства нелинейных цепей.
3. Условия применимости принципа суперпозиции.
4. Влияние нелинейности на форму и спектр сигнала.
5. Методы анализа нелинейных цепей (графический, аналитический, метод малых сигналов).

Задачи для самостоятельного решения:

Задача №1 Смоделировать RL-цепь с параметрами: R = 100 Ом, L = 10 мГн. Подать гармонический сигнал частотой 1 кГц и построить график тока через катушку.

Задача №2. Построить передаточную функцию RC-фильтра второго порядка и построить Bode-график. Проверить совпадение аналитического и численного решения.

Задача №3. Смоделировать работу детектора на диоде для ЧМ-сигнала. Определить форму восстановленного сигнала на выходе и рассчитать искажения.

Задачи для решения на занятии:

Задача №1. Собрать в MATLAB модель RC-цепи первого порядка: R = 1 кОм, C = 1 мкФ входной сигнал – ступенька 1 В. Построить график переходного процесса.

Задача №2. Построить частотную характеристику RC-фильтра нижних частот при: R = 1 кОм, C = 1 мкФ. Найти частоту среза.

Задача №3. Для активного фильтра второго порядка определить влияние коэффициента усиления на ширину полосы пропускания. Смоделировать несколько вариантов и построить АЧХ.

Задача №4. Смоделировать усилитель на операционном усилителе с коэффициентом усиления K=10. Подать сигнал амплитудой 0.5 В и 1 В. Определить точку насыщения и исследовать нелинейные искажения.

Задача №5. Смоделировать работу детектора на диоде для ЧМ-сигнала. Определить форму восстановленного сигнала на выходе и рассчитать искажения.

Практическое занятие №3. *Моделирование антенн и линий передачи*

Вопросы для подготовки к занятию*:*

1. Основные параметры и характеристики антенн.
2. Понятие линии передачи и её основные параметры.
3. Уравнения телеграфиста и их физический смысл.
4. Коэффициент отражения и волновое сопротивление.
5. Методы моделирования антенн и линий передачи в радиотехнике.

Задачи для самостоятельного решения:

Задача №1 Сгенерировать диаграмму направленности дипольной антенны длиной λ/2: построить 2D-график по азимуту, найти ширину основного лепестка на уровне –3 дБ.

Задача №2. В MATLAB построить частотную зависимость КСВН для антенны, подключенной через линию передачи 50 Ом, при следующих значениях сопротивления антенны: 25 Ом, 50 Ом, 100 Ом.

Задача №3. Смоделировать в CST двухэлементную фазированную антенную решётку на частоту 5.8 ГГц: варьировать фазовый сдвиг между элементами, построить диаграмму направленности, исследовать управление направлением луча (beam steering).

Задачи для решения на занятии:

Задача №1. Смоделировать в MATLAB или CST патч-антенну на частоту 3.3 ГГц:

размеры подложки — 80×80 мм, материал FR4, толщина — 1.5 мм. Определить резонансную частоту антенны.

Задача №2. Смоделировать монопольную антенну на частоту 2.4 ГГц. Построить графики: S11, КСВН, диаграмму направленности.

Задача №3. Смоделировать в ADS микрополосковую линию передачи: частота — 5 ГГц, $\varepsilon r = 4.5$, толщина подложки — 1 мм. Определить: волновое сопротивление линии, фазовую скорость, коэффициент затухания.

Задача №4. Смоделировать зависимость S11 антенны от частоты для диапазона 2–4 ГГц. Найти частоты, где $S11 < -10$ дБ.

Задача №5. В MATLAB смоделировать зависимость затухания сигнала в линии передачи длиной 20 м для кабеля RG-402:частотный диапазон 1–10 ГГц, построить график потерь (дБ/м).

Практическое занятие №4. *Имитационное моделирование радиосистем*

Вопросы для подготовки к занятию*:*

1. Понятие имитационного моделирования и его назначение в радиотехнике.
2. Основные этапы построения имитационной модели радиосистемы.
3. Математическое описание каналов связи и помех в имитационных моделях.
4. Критерии оценки качества функционирования радиосистем по результатам моделирования.
5. Применение специализированных программных средств для имитационного моделирования радиосистем.

Задачи для самостоятельного решения:

Задача №1 В Simulink построить модель фильтра нижних частот (ФНЧ): частота среза 5 кГц, порядок фильтра = 2. Пропустить через него сигнал, зашумлённый белым шумом, и построить графики до и после фильтрации.

Задача №2. Смоделировать работу PLL (фазовой автоподстройки частоты) в MATLAB: входной сигнал — гармоника с дрейфом частоты, сравнить частоту на выходе PLL с исходной частотой.

Задача №3. Смоделировать влияние полосового фильтра в канале: частота несущей — 5 ГГц, ширина полосы фильтра — 20 МГц. Сравнить уровень искажений при широкой и узкой полосе фильтра.

Задачи для решения на занятии:

Задача №1. В MATLAB/Simulink создать простейшую структурную модель радиосистемы: генератор сигнала, канал передачи без искажений, приёмник. Построить график сигнала на всех трёх точках.

Задача №2. В Simulink построить модель фильтра нижних частот (ФНЧ):частота среза 5 кГц, фильтра = 2. Пропустить через него сигнал, зашумлённый белым шумом, и построить графики до и после фильтрации.

Задача №3. Смоделировать систему передачи данных через Рэлеевский канал: скорость передачи – 2 Мбит/с, модуляция – QAM16,диапазон частот – 2.5 ГГц. Построить BER-кривую при разных SNR.

Задача №4. В GNU Radio создать SDR-модель: генерация QPSK-сигнала, передача по реальному каналу, измерение SNR на приёмной стороне.

Задача №5. Смоделировать работу MIMO-системы 2×2: скорость передачи — 10 Мбит/с,

Рэлеевский канал, модуляция QAM64. Построить BER-зависимости для одного и двух приёмных каналов.

Практическое занятие №5. *Моделирование адаптивных радиотехнических систем*

Вопросы для подготовки к занятию*:*

1. Понятие адаптивных радиотехнических систем и их отличительные особенности.
2. Основные задачи моделирования адаптивных систем.
3. Математические модели алгоритмов адаптации (настройка фильтров, антенн, регуляторов).
4. Методы оценки эффективности адаптивных систем при моделировании.
5. Программные средства и подходы к имитации работы адаптивных радиотехнических систем.

Задачи для самостоятельного решения:

Задача №1 Смоделировать работу адаптивного эквалайзера LMS: канал передачи — FIR-фильтр второго порядка, модуляция — QPSK, оценить BER до и после эквалайзера.

Задача №2. Создать в MATLAB модель адаптивного фильтра Калмана: использовать AWGN-канал, оценить выигрыш по SNR по сравнению с LMS.

Задача №3. В MATLAB построить модель OFDM-системы: количество поднесущих — 64, модуляция — QAM64, адаптивное кодирование LDPC. Оценить BER при различных скоростях передачи.

Задачи для решения на занятии:

Задача №1. В MATLAB создать простейшую модель адаптивного фильтра LMS: входной сигнал — синусоида 1 кГц, зашумлённость — SNR = 10 дБ, длина фильтра — 16 коэффициентов. Сравнить сигнал до и после фильтрации.

Задача №2. В MATLAB реализовать фильтр RLS и сравнить его работу с LMS: одинаковая длина фильтра, одинаковая структура канала, построить график скорости сходимости для обоих алгоритмов.

Задача №3. Смоделировать влияние шага обучения μ в LMS-фильтре: выбрать значения μ = 0.01, 0.1, 0.5, построить график сходимости для каждого случая, определить оптимальное значение шага.

Задача №4. Смоделировать влияние шага обучения μ в LMS-фильтре: выбрать значения μ = 0.01, 0.1, 0.5, построить график сходимости для каждого случая, определить оптимальное значение шага.

Задача №5. Создать модель адаптивной антенны с переключаемыми диаграммами направленности: использовать массив из 4 элементов, частота — 2.4 ГГц, управлять диаграммой направленности в зависимости от положения источника сигнала.

Практическое занятие №6. *Помехоустойчивость и ошибки в РТС*

Вопросы для подготовки к занятию*:*

1. Понятие помех и классификация их видов в радиотехнических системах.
2. Основные показатели помехоустойчивости радиосистем.
3. Методы защиты сигналов от помех (кодирование, фильтрация, модуляция).
4. Влияние отношения сигнал/шум на качество работы системы.
5. Методы оценки и анализа помехоустойчивости радиотехнических систем.

Задачи для самостоятельного решения:

Задача №1 Смоделировать зависимость BER от SNR для BPSK в AWGN-канале: SNR от 0 до 20 дБ, шаг 1 дБ, построить BER-кривую.

Задача №2. Смоделировать канал с белым шумом, при котором амплитуда шума меняется от 0.01 В до 1 В. Определить минимальный SNR, при котором BER < 10^{-3}.

Задача №3. Создать модель передачи данных через канал с импульсными помехами. Оценить BER и построить график зависимости от вероятности появления помехи.

Задача №4. Сравнить работу сверточного и LDPC-кодирования для передачи через Рэлеевский канал. Определить, какой метод эффективнее для BER < 10^{-5}.

Задача №5. Создать модель LTE-передатчика и приёмника в MATLAB: модуляция — QAM64, ширина канала — 10 МГц, добавить AWGN и Рэлеевский каналы. Построить BER-кривые.

Задача №6. Смоделировать влияние частотных смещений на BER при скорости движения приёмника от 0 до 100 км/ч.

Задачи для решения на занятии:

Задача №1. В MATLAB создать сигнал QPSK и добавить к нему AWGN-шум при SNR = 10 дБ. Построить график сигнала до и после зашумления.

Задача №2. Создать модель передачи сигнала через Рэлеевский канал и сравнить BER с результатами для AWGN-канала.

Задача №3. В MATLAB построить автокорреляционную функцию для белого шума и прокомментировать её форму.

Задача №4. Смоделировать влияние шага обучения μ в LMS-фильтре: выбрать значения μ = 0.01, 0.1, 0.5,построить график сходимости для каждого случая, определить оптимальное значение шага.

Задача №5. Создать модель адаптивной антенны с переключаемыми диаграммами направленности: использовать массив из 4 элементов, частота — 2.4 ГГц, управлять диаграммой направленности в зависимости от положения источника сигнала.

Задача №6. В MATLAB реализовать турбо-кодирование для QPSK-сигнала и сравнить BER до и после кодирования при SNR = 8 дБ.

Задача №7. Смоделировать влияние полосы канала на BER при передаче OFDM-сигнала: количество поднесущих — 64, частота — 2.4 ГГц, полоса канала — 5, 10 и 20 МГц.

Задача №8. Исследовать влияние задержек многолучевого канала на BER: использовать Рэлеевский модель, варьировать задержку от 10 до 200 нс, построить BER-кривые.

Задача №9. Сравнить работу PLL в условиях чистого канала и при наличии шума. Построить графики ошибки фазы.

Задача №10.Смоделировать работу MIMO-системы 2×2 с использованием алгоритма Zero-Forcing Equalization. Сравнить BER с системой SISO в условиях Рэлеевского канала.

Практическое занятие №7. *Комплексное моделирование РТС*

Вопросы для подготовки к занятию*:*

1. Понятие комплексного моделирования и его назначение в радиотехнических системах.
2. Уровни моделирования: функциональное, структурное и параметрическое.
3. Особенности совместного моделирования сигналов, каналов связи и аппаратуры.
4. Критерии оценки эффективности радиотехнической системы при комплексном моделировании.
5. Программные средства и методы реализации комплексного моделирования.

Задачи для самостоятельного решения:

Задача №1 В Simulink построить модель простой радиосистемы: передатчик, канал с задержкой, приёмник. Построить графики сигналов на всех этапах.

Задача №2. Создать модель системы спутниковой связи: частота несущей — 12 ГГц, атмосферные потери: дождь, облачность, туман, рассчитать BER при разных сценариях погоды.

Задача №3. Создать модель радиолокационной системы (РЛС): передача ЧМ-сигнала, отражение от цели, определение дальности и скорости объекта, построить график спектра принятого сигнала.

Задачи для решения на занятии:

Задача №1. Создать в MATLAB модель цифровой радиосистемы: генерация бинарного сигнала, BPSK-модуляция, AWGN-канал, демодуляция, построить график BER в зависимости от SNR.

Задача №2. Смоделировать влияние полосы фильтра на BER в системе QPSK: ширина полосы фильтра: 1 МГц, 2 МГц, 5 МГц, построить зависимость BER от полосы.

Задача №3. В MATLAB построить комплексную модель канала: передача сигнала через Рэлеевский канал с аддитивным белым шумом, сравнить BER при использовании и без эквализации.

Задача №4. Смоделировать в Simulink OFDM-систему: количество поднесущих — 64, QAM16, Rayleigh-канал, построить зависимость BER от SNR.

Задача №5. Смоделировать комплексную MIMO-систему 2×2 в MATLAB: модуляция QAM16, Рэлеевский канал, построить графики BER для SISO и MIMO.

Самостоятельная работа

1. Подготовка к практическим занятиям включает в себя подготовку ответов на теоретические вопросы к практическим занятиям и самостоятельное решение задач по теме занятия (приведены в планах практических занятий).

Методические рекомендации для студентов по подготовке к практическому занятию. Подготовка к практическим занятиям предполагает подготовку студентом ответов на теоретические вопросы и выполнение практических заданий для самостоятельной работы (решение задач по теме занятия). Перечень вопросов для подготовки к занятию и задания для самостоятельной работы приведены в планах практических занятий. Выполнение студентами данного вида самостоятельной работы проверяется преподавателем на соответствующем практическом занятии.

1) Изучите материал, соответствующий теме практического занятия, по конспекту соответствующей лекции и одному из учебников, предложенному в списке основной литературы.

2) Найдите в тексте учебника и конспекте лекций ответы на вопросы для подготовки к занятию. Рекомендуется составить краткий конспект по каждому из вопросов.

3) Выучите основные понятия и определения, законы и формулы, соответствующие теме практического занятия.

4) Выполните практические задания, предложенные для самостоятельной работы по теме данного занятия.

Методические рекомендации студенту по самостоятельному решению задач. Перед решением задач студенту рекомендуется познакомиться с необходимыми физическими теориями и законами, используя материалы лекций, а также источники из списка основной и дополнительной литературы, ресурсы сети «Интернет».

Решение каждой задачи должно содержать следующие пункты:

1) Краткая запись условия размещается в левом верхнем углу листа и отделяется от основного решения вертикальной линией. В краткую запись включаются буквенные обозначения величин, заданных по условию задачи, и их количественные значения в единицах СИ. Также в краткую запись условия включаются величины, значения которых необходимо найти по условию задачи. Неизвестные величины отделяются от известных горизонтальной чертой.

2) Рисунок размещается справа от краткой записи условия. На рисунке необходимо схематически изобразить физическую ситуацию, описываемую в условии задачи. Особое внимание следует уделить рисункам к задачам по механике. По возможности, на рисунке следует указать основные величины, известные по условию задачи, а также искомые величины.

3) Анализ условия размещается под рисунком и включает в себя указание тех физических теории и законов, на применении которых основывается решение задачи. Анализ условия также может включать объяснение явлений и процессов, описываемых в условии задачи.

4) Запись необходимых математических уравнений, отражающих физические теории и законы, используемые при решении задачи. При записи математических уравнений необходимо следить, чтобы в них входили только известные и искомые физические величины.

5) Решение составленной системы математических уравнений приводится в полном объеме, без сокращений и записей вида «путем несложных математических преобразований получим…».

6) Анализ полученного ответа проводится по нескольким направлениям. Следует проверить единицу измерения полученной величины, проанализировать численное значение на соответствие условию задачи и логическую непротиворечивость. После анализа результата, следует записать ответ к задаче.

2. Самостоятельное изучение отдельных вопросов курса

Часть теоретических вопросов курса выносится на самостоятельное изучение студентами. При самостоятельном изучении вопроса студент должен познакомиться с содержанием соответствующей темы по одному из учебников, указанных в списке основной литературы, при необходимости могут использоваться источники из списка дополнительной литературы, а также рекомендованные ресурсы сети «Интернет». По каждому вопросу необходимо составить конспект, по возможности включающий следующие пункты:

– краткая история открытия явления, закона, изобретения;

– основные физические законы и теории, на которых основывается объяснение данного явления;

– математическая модель описываемого явления и выводы из нее;

– экспериментальная проверка справедливости теории, модели и выводов из нее;

– практическое применение описываемого явления, процесса.

Конспекты, составленные студентами, проверяются преподавателем во время экзамена.

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельное изучение

1. Методы генерации случайных величин с равномерным на интервале [0,1] законом распределения.
2. Методы генерации случайных величин с произвольным законом распределения.
3. Методы генерации случайных векторов.
4. Моделирование гауссовских случайных процессов с заданными корреляционными свойствами.
5. Алгоритмы для простейшего потока Эрланга произвольного порядка.

6. Моделирование марковских случайных процессов.
7. Рекуррентный алгоритм моделирования.
8. Метод огибающей и фазы.
9. Метод контурных интегралов.
10. Методы амплитуд, линеаризации по флуктуациям.
11. Моделирование стационарных негауссовских процессов.
12. Метод инвариантности импульсной характеристики.
13. Метод билинейного преобразования.
14. Метод замены дифференциалов.
15. Расчет КИХ фильтров.
16. Моделирование безынерционных нелинейных звеньев.
17. Моделирование замкнутых инерционных нелинейных звеньев.
18. Методы статистической и гармонической линеаризации.
19. Системы, заданные нелинейными дифференциальными уравнениями.
20. Оценка закона распределения вероятностей.
21. Проверка соответствия выбранной модели распределения данным эксперимента.
22. Обеспечение необходимой точности статистических оценок при моделировании.
23. Методы проверки адекватности модели и оригинала.
24. Критерий Пирсона.
25. Критерий Колмогорова.
26. Критерий Крамера–Мизеса.
27. Оценка моментов распределения.
28. Оценка корреляционной функции случайного процесса.
29. Метод коррелограмм.
30. Метод периодограмм.
31. Методы поиска экстремума при наличии ошибки оценки показателя эффективности в процессе эксперимента на модели.
32. Отечественные разработки в сфере теории и практики математического моделирования технических объектов.

6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины (модуля)

6.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущей аттестации

1. Подготовка конспекта по вопросам курса, выносимым на самостоятельное изучение (перечень вопросов курса, выносимых на самостоятельное изучение, приведен в разделе «Самостоятельная работа»).

Критерии оценивания конспектов по прикладным вопросам курса, выносимым на самостоятельное изучение

Показатель	Количество баллов
1) Соответствие представленного материала поставленному вопросу	1
2) Полнота изложения ответа (представлены все необходимые теории, понятия, факты и пр.)	1
3) Логика изложения материала (материал выстроен в логической последовательности, соблюдается схема причина – следствие, предпосылка – вывод)	1
4) Глубина изложения ответа (представлены не только основные положения теорий и законы, но и получены и обоснованы выводы из них)	1
5) Конспект сопровождается рисунками и схемами, необходимыми для пояснения теоретических положений	1

6) Приведены примеры использования описанных явлений, теорий и устройств на практике	1
7) При подготовке ответа на вопрос использованы дополнительные источники информации	1
8) Работа оформлена грамотно, не содержит опечаток и ошибок, форматирование текста соответствует общепринятым требованиям	1
9) Представлен краткий устный доклад на практическом занятии по вопросу, выносимому на самостоятельное изучение	1
10) Студент ответил на дополнительные вопросы преподавателя по конспекту	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 10

2. Решение задач на практическом занятии и задач для самостоятельной работы (перечень задач для практического занятия и самостоятельной работы к каждому занятию приведен в планах практических занятий)

Критерии оценивания решения задач

Показатель	Количество баллов
1) Приведена краткая форма условия задачи	1
2) Все величины, заданные по условию задачи, выражены в СИ	1
3) Приведен рисунок (схема электрической цепи), соответствующий условию задачи	1
4) Проведен анализ условия задачи, включающий указание основных явлений, о которых идет речь в задаче	1
5) Приведены формулировки и математические уравнения основных законов, положенных в основу решения задачи	1
6) Записана система математических уравнений, используемых при решении задачи	1
7) Приведено решение системы математических в общем виде уравнений	1
8) Проведен анализ итоговой формулы на соответствие единиц измерения	1
9) Получен правильный численный ответ на вопрос задачи	1
10) Проведен анализ полученного результата	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 10

6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

Форма промежуточной аттестации – **экзамен**.

Для определения уровня сформированности компетенций применяется процедура независимой оценки. Независимая оценка уровня сформированности компетенций осуществляется комиссией (с возможностью привлечения внешних экспертов со стороны работодателей). В состав комиссии входят 3 преподавателя: заведующий кафедрой – председатель комиссии и независимый эксперт, преподаватель, читающий дисциплину «Математическое моделирование радиотехнических систем», преподаватель кафедры – независимый эксперт. Экзамен проходит в традиционной форме – по билетам. В билет включены 2 теоретических вопроса и 1 практическое задание. Ответ студента оценивается коллегиально, путем голосования. Каждый член комиссии имеет один голос. При расхождении оценок у преподавателей, решающим является голос заведующего кафедрой.

Вопросы для подготовки к экзамену (Экзаменационные вопросы)

1. Тенденции развития радиотехнических систем и методов их исследования. Проблемная ситуация при создании сложных радиотехнических систем, обусловленная ограниченностью аналитических и экспериментальных методов исследования.
2. Способы применения ЭВМ - численный анализ и математическое моделирование. Основные направления и области применения ЭВМ при создании и использовании радиотехнических систем.
3. Физическое, математическое и смешанное моделирование. Схема организации процесса моделирования. Функциональный принцип моделирования. Понятие о методе статистических испытаний. Отечественные разработки в сфере теории и практики математического моделирования технических объектов.
4. Классификация сигналов: по физической природе, характеру изменения, непрерывности, полосе частот, назначению. Представление сигналов функциональное, векторное, квадратурное. Спектральные представления сигналов, преобразования Фурье и Лапласа.
5. Модели шумов: белый, цветной, гауссовский, импульсный. Влияние шумов на передаваемый сигнал, модели радиоканалов с шумами.
6. Типы радиотехнических цепей и их математические модели: уравнения состояния и передаточная функция.
7. Описание переходных процессов во временной и частотной областях.
8. Особенности описания нелинейных цепей. Основные методы математического описания нелинейных цепей.
9. Основные параметры антенных систем: коэффициент усиления, диаграмма направленности, поляризация. Уровни моделирования антенных систем: аналитическое, численное, имитационное. Современные методы моделирования.
10. Линии передачи: типы и основные параметры. Особенности математического описания линии передачи при моделировании радиотехнических систем. Описание влияния внешних факторов при математическом моделировании.
11. Моделирование приема сверхширокополосного сигнала различными типами антенных систем.
12. Основные принципы имитационного моделирования. Подходы к моделированию радиотехнических систем: системное, функциональное, схемотехническое, физическое.
13. Основные элементы математической системы. Основные элементы имитационной модели радиотехнической системы: источник сигнала, передатчик, среда распространения, приемник, блок обработки сигнала.
14. Модели каналов передачи радиосигналов. Оценка качества радиоканала. Примеры имитационных моделей радиотехнических систем.
15. Особенности адаптивных радиотехнических систем. Задачи, решаемые с применением адаптивных радиотехнических систем. Математические модели адаптивных радиотехнических систем: АФАР, канал связи с изменяемым типом модуляции, система минимизации мощности канала связи с требуемым отношением сигнал/шум на выходе приемника.
16. Помехоустойчивость и помехозащищенность. Источники шумов, особенности моделирования генератора шума заданного типа. Описание влияния источников шума на радиотехнические системы. Методы повышения помехоустойчивости.
17. Задачи комплексного моделирования радиотехнических систем. Подходы к комплексному моделированию. Примеры комплексных моделей радиотехнических систем: цифровая система связи, радиолокационная станция, спутниковая система связи, система радиотехнической разведки и подавления.

Практические задания (примеры)

1. Смоделировать сигнал с фазовой модуляцией (PM): несущая частота – 5 кГц, частота модуляции – 500 Гц, индекс модуляции – 2. Построить временной сигнал и его спектр.

2. Сгенерировать линейно-частотно-модулированный сигнал (ЧМ-сигнал) длительностью 2 мс, начальная частота – 1 кГц, конечная частота – 3 кГц. Построить график изменения частоты во времени.

3. Построить передаточную функцию RC-фильтра второго порядка и построить Bode-график. Проверить совпадение аналитического и численного решения.

4. Смоделировать монопольную антенну на частоту 2.4 ГГц. Построить графики: S11, КСВН, диаграмму направленности.

5. Смоделировать зависимость S11 антенны от частоты для диапазона 2–4 ГГц. Найти частоты, где S11 < –10 дБ.

6. Смоделировать систему передачи данных через Рэлеевский канал: скорость передачи – 2 Мбит/с, модуляция – QAM16, диапазон частот – 2.5 ГГц. Построить BER-кривую при разных SNR.

7. Смоделировать канал с белым шумом, при котором амплитуда шума меняется от 0.01 В до 1 В. Определить минимальный SNR, при котором BER < 10^{-3}.

8. Смоделировать влияние полосы канала на BER при передаче OFDM-сигнала: количество поднесущих – 64, частота – 2.4 ГГц, полоса канала – 5, 10 и 20 МГц.

9. Смоделировать влияние полосы фильтра на BER в системе QPSK: ширина полосы фильтра: 1 МГц, 2 МГц, 5 МГц, построить зависимость BER от полосы.

10. Смоделировать комплексную MIMO-систему 2×2 в MATLAB: модуляция QAM16, Рэлеевский канал, построить графики BER для SISO и MIMO.

Критерии и показатели оценивания ответа студента по уровням

Оценка 10/ "Отлично" выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении практического задания систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной дисциплины, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы; точное использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы; безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; обладает способностью самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации; демонстрирует полное и глубокое усвоение содержания основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины; демонстрирует умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин.

Оценка 9/"Отлично" выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной дисциплины; точное использование научной терминологии, грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы; владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; обладает способностью самостоятельно и творчески решать сложные задачи в нестандартной ситуации в рамках учебной дисциплины; демонстрирует полное усвоение содержания основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины; демонстрирует умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им аналитическую оценку.

Оценка 8/"Отлично" выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной дисциплины; использование научной терминологии, грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы; умение делать обоснованные выводы и обобщения; владение инструментарием учебной

дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; обладает способностью самостоятельно решать сложные задачи в рамках учебной дисциплины; демонстрирует полное усвоение содержания основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины; демонстрирует умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им аналитическую оценку.

Оценка 7/"Хорошо" выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий систематизированные, глубокие знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной дисциплины; использование научной терминологии, грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы; умение делать обоснованные выводы и обобщения; владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; обладает способностью свободно решать типовые задачи в рамках учебной дисциплины; демонстрирует усвоение содержания основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины; демонстрирует умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им аналитическую оценку.

Оценка 6/"Хорошо" выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной дисциплины; использование необходимой научной терминологии, грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы; умение делать обобщенные и обоснованные выводы; владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении научных и профессиональных задач; обладает способностью решать типовые задачи в рамках учебной дисциплины; демонстрирует усвоение содержания основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины; демонстрирует умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку.

Оценка 5/"Удовлетворительно" выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий достаточные знания в объеме учебной дисциплины; минимальное использование необходимой научной терминологии, достаточно грамотное изложение ответа на вопросы, но с нарушением логической последовательности; умение делать выводы с допущением несущественных ошибок; недостаточное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать только в решении стандартных (типовых) задач; умение решать стандартные (типовые) задачи в рамках учебной дисциплины с минимальной долей самостоятельности под руководством преподавателя; демонстрирует усвоение содержания основной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины; умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку; умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

Оценка 4/"Удовлетворительно" выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий достаточный объем знаний в рамках учебной дисциплины; научная терминология используется редко, при ответе на вопросы демонстрируется нарушение логической последовательности; владение инструментарием учебной дисциплины только при решении стандартных (типовых) задач; низкий уровень культуры исполнения заданий.

Оценка 3/"Неудовлетворительно" выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий недостаточный объем знаний в рамках учебной дисциплины; научная терминология не используется; в ответах на вопросы демонстрируется существенные логические ошибки; слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность при решении стандартных (типовых) задач.

Оценка 2/"Неудовлетворительно" выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий фрагментарные знания в рамках учебной дисциплины; научная терминология не используется или используется неграмотно; в ответах на вопросы демонстрируется грубые логические ошибки; невладение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность при решении стандартных (типовых) задач.

Оценка 1/"Неудовлетворительно" выставляется студенту, который демонстрирует отсутствие приращения знаний и компетентности в рамках учебной дисциплины.

Таблица перевода оценок из 10-ти бальной системы в 5-ти бальную систему

Оценка по 10-ти бальной системе	Оценка по 5-ти бальной системе
10, 9, 8	5 «отлично»
7, 6	4 «хорошо»
5, 4	3 «удовлетворительно»
3, 2, 1	2 «неудовлетворительно»

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

7.1. Основная литература

1. Зализняк В. Е. Математическое моделирование: учебник для вузов / В. Е. Зализняк, О. А. Золотов. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 125 с. – URL: https://urait.ru/bcode/566453.

2. Лобанов А. И. Математическое моделирование нелинейных процессов: учебник для вузов / А. И. Лобанов, И. Б. Петров. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 233 с. – URL: https://urait.ru/bcode/561935.

3. Бордовский Г. А. Физические основы математического моделирования: учебник и практикум для вузов / Г. А. Бордовский, А. С. Кондратьев, А. Чоудери. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 319 с. – URL: https://urait.ru/bcode/561986.

4. Рейзлин В. И. Математическое моделирование: учебник для вузов / В. И. Рейзлин. – М.: Издательство Юрайт, 2025. –126 с. – URL: https://urait.ru/bcode/561369.

5. Орел Е. Н. Непрерывные математические модели: учебник для вузов / Е. Н. Орел, О. Е. Орел. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 120 с. – URL: https://urait.ru/bcode/564453.

6. Крутских В. В. Моделирование в LabVIEW: учебник для вузов / В. В. Крутских. –М.: Издательство Юрайт, 2025. – 171 с. – URL: https://urait.ru/bcode/567578.

7. Моделирование систем и процессов. Практический курс: учебник для вузов / под редакцией В. Н. Волковой. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 295 с. – URL: https://urait.ru/bcode/561270.

7.2 Дополнительная литература

1. Веников В.А. Методы математического моделирования сложных систем — М.: Энергоатомиздат, 2012.

2. Головков А. А. Компьютерное моделирование и проектирование радиоэлектронных средств: учебник для вузов / А. А. Головков, И. Ю. Пивоваров, И. Р. Кузнецов. -СПб.: Питер, 2015. - 208 с.: ил., рис., табл. - (Учебник для вузов).

3. Информационные технологии в радиотехнических системах: Учебное пособие / В.А.Васин, И.Б.Власов, Ю.М.Егоров [и др.]; под ред. И.Б. Федорова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 672 с.

4. Лезин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем /Ю.С.Лезин. – М.: Радио и связь, 1986. – 280 с.

5. Прякин Г.А. Имитационное моделирование радиотехнических систем — М.: Радиотехника, 2014.

6. Румянцев А.Н. Цифровая обработка сигналов в радиотехнических системах — М.: Радио и связь, 2016.

7. Стефанова И. А. Моделирование устройств телекоммуникаций в системе MatLab+Simulink: учебное пособие / И. А. Стефанова; ПГУТИ. - Самара: ИУНЛ ПГУТИ, 2016. - 148 с
8. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. Учебное пособие для вузов / под ред. Ширмана Я.Д. М.: Советское радио, 1970.
9. Proakis J.G., Salehi M. Digital Communications — McGraw-Hill, 5-е изд., 2019.
10. Sklar B. Digital Communications: Fundamentals and Applications — Prentice Hall, 2018.
11. Haykin S. Adaptive Filter Theory — Pearson, 2014.
12. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов/ С. И. Баскаков. — М. : Высш. шк., 2000. — 462 с.
13. Дьяконов В.П. MATLAB и Simulink для радиоинженеров — М.: ДМК Пресс, 2019.
14. Зверев А.И. Фильтры для радиотехники — М.: Радио и связь, 2017.
15. Маслов В.П. Теория сигналов и шумов — М.: Высшая школа, 2016.
16. Сапожников В.В., Чумаченко И.И. Моделирование радиотехнических систем — М.: Радио и связь, 2010.
17. Симонов В.П. Антенны и устройства СВЧ — М.: Радиотехника, 2015.
18. Синицын С.П. Моделирование и исследование радиотехнических систем в MATLAB — СПб.: БХВ-Петербург, 2021.
19. Смирнов В.А. Радиотехнические цепи и сигналы — М.: Академия, 2018.
20. Монаков А.А. Математическое моделирование радиотехнических систем: учебное пособие для вузов / А.А. Монаков. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023.

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Единое окно доступа к образовательным ресурсам: http://window.edu.ru/.
2. Интернет Университет Информационных Технологий: http://www.intuit.ru/.
3. Электронно-библиотечная система «IPRbooks» [Электронный ресурс]. URL: https://iprbookshop.ru/.
4. Пакет схематического моделирования цифровых, аналоговых и аналогово-цифровых электронных схем высокой сложности: https://cxem.net/software/electronics_workbench.php.
5. Онлайн-инструмент для создания схем и печатных плат: https://easyeda.com/ru.
6. Онлайн симулятор электрической цепи: https://dcaclab.com.
7. ulp-скрипт для САПР Eagle light, конвертирующий библиотеку компонентов и посадочных мест в формат для САПР KiCAD. http://www.modulbot.com/download.html.

8. Материально-техническое обеспечение

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная стандартной учебной мебелью, мультимедиапроектором, ноутбуком, колонками и интерактивной доской.

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа (практических занятий), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная стандартной учебной мебелью.

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа (лабораторных занятий), оснащенная стандартной учебной мебелью и оборудованием, необходимым для проведения лабораторных работ. ПЭВМ – 25 шт.

.**Помещение для самостоятельной работы** – компьютерный класс с доступом к сети «Интернет» и ЭИОС СмолГУ.

9. Программное обеспечение

Microsoft Open License (Windows 8, 10, Server, Office 2003-2016), лицензия 66975477 от 03.06.2016 (бессрочно), система компьютерной математики MathCAD, среда программирования LabVIEW Community Edition (свободная лицензия).

Обучающимся обеспечен доступ к ЭБС «Юрайт», а также доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.