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.В.01 Основы автоматизации проектирования антенных 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 – 1,2
Семестр – 1,2,3
Всего зачетных единиц –6; часов – 216
Форма отчетности: зачет– 1,2,3 семестр.

Программу разработал: кандидат технических наук Э.Л. Нивеницын

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

Заведующий кафедрой _____ А.В. Зайцев

Смоленск
2025

1.Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Основы автоматизации проектирования антенных систем» включена в часть, формируемую участниками образовательных отношений, 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 «Основы автоматизации проектирования антенных 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 «Основы автоматизации проектирования антенных 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 «Основы автоматизации проектирования антенных систем» студенты приобретают знания, умения и навыки, необходимые для автоматизированного проектирования радиоэлектронных систем, разработки нормативно-технической документации для создания проектов современных радиоэлектронных устройств.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индикаторы достижения
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	**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

реализации элементов новых (или известных) программных продуктов в области цифровых радиотехнических систем и комплексов	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.
ПК-3. Способен разрабатывать программное обеспечение цифровых радиотехнических систем и комплексов	**Знает:** архитектуру аппаратной платформы, синтаксис, принципы и особенности программирования (в том числе кроссплатформенного, распределенного и параллельного программирования), стандартные библиотеки выбранного языка программирования, стандарты реализации интерфейсов устройств, технологии разработки и отладки программных продуктов, принципы информационного построения сетевого взаимодействия, методики тестирования программного обеспечения. **Умеет:** использовать методы и приемы формализации и алгоритмизации поставленных задач, применять выбранный язык программирования для написания программного кода, осуществлять отладку программного обеспечения. **Владеет:** основными методами и приемами разработки и отладки программных продуктов.

3. Содержание дисциплины

Методологические основы автоматизированного проектирования

Введение в современные САПР антенных систем. Цели, задачи и место АПАС в жизненном цикле радиоэлектронных средств. Обзор и сравнительный анализ программных комплексов (CST, HFSS, FEKO). Критерии выбора численного метода (FDTD, FEM, MoM) для различных классов антенных задач.

*Математические модели и верификация результатов.*Постановка граничных задач электродинамики для антенн.Интегральные уравнения (Поклингтона, Харрингтона) и методы их решения.Методы верификации моделей: анализ сходимости сетки, сравнение с аналитическими расчетами и экспериментальными данными.

АП основных классов антенн и решеток

*Проектирование и оптимизация элементарных излучателей.*Вибраторные антенны: моделирование, согласование, анализ параметров.Печатные антенны: расчет геометрии, методы возбуждения, обеспечение широкополосности.Специализированные антенны: спиральные (круговая поляризация), антенны типа «Волновой канал».

Проектирование апертурных антенных систем. Рупорные антенны: проектирование, анализ диаграммы направленности и коэффициента усиления.Зеркальные антенны: выбор профиля, анализ облучателя, учет блокировки.Методы минимизации фазовых ошибок в раскрыве.

*Моделирование антенных решеток и ФАР.*Синтез диаграмм направленности линейных и плоских решеток.Анализ взаимного влияния и активного импеданса элементов.Основы проектирования ФАР: управление лучом, моделирование фазовращателей.

Комплексное проектирование и практические приложения

*Полный цикл проектирования антенны для прикладных задач.*Разработка антенн для современных систем связи (Wi-Fi, 5G, ГНСС).Учет влияния конструктивного исполнения (корпус, платформа) на параметры антенны.Параметрическая оптимизация и анализ чувствительности характеристик.

*Связь расчетных моделей с экспериментом.*Метрологические основы измерений

параметров антенн (КСВ, ДН, коэффициента усиления).Методика сопоставления результатов моделирования и натурных испытаний.Корректировка электродинамических моделей на основе экспериментальных данных.

Перспективные направления антенной техники. Антенны на основе метаматериалов и их применение. Реконфигурируемые и MIMO-антенны для современных систем связи.Тенденции развития методов автоматизированного проектирования.

4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий	
			Практические занятия	Самостоя-тельная работа
1 семестр				
1.	**Методологические основы автоматизированного проектирования**	**72**	**32**	**40**
1.1	Введение в современные САПР антенных систем	36	16	20
1.2	Математические модели и верификация результатов	36	16	20
2 семестр				
2.	**АП основных классов антенн и решеток**	**72**	**32**	**40**
2.1	Проектирование и оптимизация элементарных излучателей	22	10	12
2.2	Проектирование апертурных антенных систем	24	10	14
2.3	Моделирование антенных решеток и ФАР	26	12	14
3 семестр				
3.	**Комплексное проектирование и практические приложения**	**72**	**28**	**44**
3.1	Полный цикл проектирования антенны для прикладных задач. Перспективные направления антенной техники	36	14	22
3.2	Связь расчетных моделей с экспериментом	36	14	22
	ИТОГО	**216**	**92**	**124**

5. Виды учебной деятельности

Занятия семинарского типа (практические занятия)

1 семестр

Практические занятия № 1-8. *Базовое моделирование симметричного вибратора в CST StudioSuite. Верификация аналитическим расчетом*

Цели:

1. Освоить базовый цикл проектирования антенны в САПР CST StudioSuite: создание модели, настройка решателя, анализ результатов.

2. Получить навыки расчета основных параметров вибраторной антенны (резонансная частота, входное сопротивление) с помощью аналитического подхода в Mathcad.

3. Провести сравнительный анализ результатов, полученных численным и аналитическим методами.

Приборы и принадлежности:

1. Персональный компьютер.
2. Программное обеспечение: CST StudioSuite, Mathcad.

Задания:

1. Рассчитать в Mathcad длину плеча симметричного полуволнового вибратора для резонансной частоты 1.5 ГГц. Рассчитать его теоретическое входное сопротивление в точке питания.

2. В CST StudioSuite создать и настроить модель симметричного вибратора с рассчитанными геометрическими параметрами. Задать дискретный порт возбуждения, граничные условия и частотный диапазон расчета.

3. Провести расчет и проанализировать полученные результаты: график КСВ, входное сопротивление на резонансной частоте, 3D диаграмму направленности.

4. Сравнить резонансную частоту и входное сопротивление, полученные в CST, с результатами аналитического расчета из п.1. Сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое дискретный порт в CST и каковы принципы его корректной установки на модель вибратора?

2. Объясните физический смысл КСВ. Какой считается допустимый уровень КСВ для большинства антенных применений?

3. Почему реальная резонансная длина вибратора в CST немного меньше расчетной электрической длины λ/2?

4. Какие граничные условия вы использовали в модели и почему?

5. Опишите форму и основные параметры (ширина ДН, уровень боковых лепестков) диаграммы направленности симметричного вибратора.

6. В чем заключаются основные причины возможных расхождений между аналитическим и численным расчетами?

Практические занятия №8-16.*Проектирование и параметрическая оптимизация микрополосковойпатч-антенны*

Цели:

1. Изучить методику расчета и проектирования прямоугольной микрополосковой антенны (МПА).

2. Освоить технику параметрической оптимизации геометрии антенны в CST для достижения заданных характеристик.

3. Исследовать влияние геометрических параметров патча на его резонансную частоту и полосу пропускания.

Приборы и принадлежности:

1. Персональный компьютер.

2. Программное обеспечение: CST StudioSuite, Mathcad.

Задания:

1. В Mathcad выполнить расчет исходной геометрии (длины и ширины патча) прямоугольной МПА на резонансную частоту 2.45 ГГц на заданной подложке (например, FR-4, ε=4.3, h=1.6 мм).

2. В CST создать модель МПА, включающую подложку, металлический патч и заземленный слой. Задать параметры подложки и порт возбуждения (коаксиальный или микрополосковый).

3. Провести параметрический расчет, варьируя длину патча, для поиска точной резонансной частоты. Оптимизировать ширину патча и точку питания для минимизации КСВ на центральной частоте и расширения рабочей полосы.

4. Проанализировать полученные характеристики: КСВ, диаграмму направленности, коэффициент усиления.

Контрольные вопросы:

1. Какие факторы влияют на резонансную частоту МПА?

2. Как положение точки питания влияет на входное сопротивление антенны?

3. Объясните, почему реальная полоса пропускания МПА оказывается уже расчетной?

4. Каков механизм излучения в микрополосковой антенне?

5. Какие преимущества и недостатки у коаксиального возбуждения по сравнению с микрополосковым?

6. Как толщина и диэлектрическая проницаемость подложки влияют на размеры, полосу пропускания и эффективность МПА?

2 семестр

Практические занятия № 1-5.*Моделирование и анализ пирамидального рупорного излучателя*

Цели:

1. Исследовать характеристики пирамидальной рупорной антенны как классического апертурного излучателя.
2. Изучить влияние геометрических параметров рупора (длины и раскрыва) на его коэффициент усиления и диаграмму направленности.
3. Освоить методику моделирования антенн с волноводным возбуждением.

Приборы и принадлежности:

1. Персональный компьютер.
2. Программное обеспечение: CST StudioSuite, Mathcad.

Задания:

1. По заданным углам раскрыва и длине рупора создать его 3D-модель в CST, присоединив к стандартному прямоугольному волноводу.
2. Провести расчет в частотной области. Проанализировать КСВ в подключенном волноводе.
3. Исследовать зависимость коэффициента усиления от частоты. Построить ДН в главных плоскостях (E и H) на центральной частоте.
4. Выполнить параметрический расчет, изменяя размеры раскрыва рупора. Проанализировать, как изменение раскрыва влияет на ширину ДН и коэффициент усиления.
5. Сравнить полученное в CST значение коэффициента усиления с расчетным по приближенной формуле в Mathcad.

Контрольные вопросы:

1. Каков принцип работы рупорной антенны? Почему она является широкополосной по сравнению с МПА?
2. Что такое фазовый центр антенны и как он связан с рупорными антеннами?
3. Объясните причину возникновения фазовых ошибок в раскрыве рупора и их влияние на ДН.
4. Какой тип волны является рабочей в пирамидальном рупоре? Как обеспечивается ее возбуждение?
5. Почему КСВ рупорной антенны в целом лучше, чем у МПА?
6. В каких областях техники находят применение рупорные антенны?

Практические занятия № 6-10.*Синтез диаграммы направленности линейной антенной решетки в MATLAB*

Цели:

1. Освоить принципы синтеза диаграммы направленности (ДН) линейной эквидистантной решетки (АР).
2. Исследовать влияние амплитудного и фазового распределения на параметры ДН.
3. Изучить явление взаимного влияния и его влияние на входное сопротивление элементов решетки.

Приборы и принадлежности:

1. Персональный компьютер.
2. Программное обеспечение: MATLAB.

Задания:

1. Написать скрипт в MATLAB, реализующий расчет и построение нормированной ДН линейной эквидистантной АР с заданным числом изотропных излучателей.

2. Исследовать ДН для различных амплитудных распределений (равноамплитудное, косинусоидальное, косинус-квадрат). Сравнить ширину главного лепестка и уровень боковых лепестков.

3. Исследовать влияние фазового сдвига между элементами на направление максимального излучения (сканирование ДН).

4. Рассчитать и построить график зависимости активного КСВ центрального элемента решетки от угла сканирования.

5. Проанализировать возникновение дифракционных максимумов (гридинг-лобов) и условия их отсутствия.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте принцип перемножения диаграмм для антенной решетки.
2. Как амплитудное распределение влияет на ширину ДН и уровень боковых лепестков?
3. Что такое «диаграмма направленности решетки» и «множитель решетки»?
4. Как связан фазовый сдвиг между элементами $\Delta\varphi$ с углом сканирования θ_0?
5. Что такое «активное входное сопротивление» элемента в решетке и чем оно отличается от сопротивления одиночного излучателя?
6. Объясните физическую причину возникновения гридинг-лобов.
7. Каково условие отсутствия дифракционных максимумов в видимой области для линейной решетки?

Практические занятия № 11-16.*Сравнительный анализ антенн «Волновой канал» и спиральной антенны*

Цели:

1. Спроектировать и смоделировать две антенны различных типов: антенну Яги-Уда («Волновой канал») и цилиндрическую спиральную антенну.
2. Провести сравнительный анализ их характеристик: КСВ, диаграммы направленности, поляризации, полосы пропускания.
3. Изучить принципы работы антенны бегущей волны на примере спиральной антенны.

Приборы и принадлежности:

1. Персональный компьютер.
2. Программное обеспечение: CST StudioSuite.

Задания:

1. Спроектировать 5-элементную антенну Яги-Уда на частоту ~1.2 ГГц. Подобрать длины активного вибратора, рефлектора и директоров, а также расстояния между ними для достижения максимального коэффициента усиления.
2. Спроектировать 4-витковую цилиндрическую спиральную антенну для работы в режиме осевого излучения на той же частоте. Подобрать диаметр спирали и шаг навивки.
3. Провести моделирование обеих антенн. Сравнить их коэффициенты усиления, ширину ДН, КСВ и поляризационные характеристики.
4. Определить тип поляризации каждой антенны и убедиться в круговой поляризации спиральной антенны в направлении оси.

Контрольные вопросы:

1. Какова роль рефлектора и директоров в антенне Яги-Уда?
2. Почему антенна Яги-Уда является антенной бегущей волны?
3. Объясните условие возникновения осевого излучения в цилиндрической спиральной антенне.
4. Каков механизм формирования круговой поляризации в спиральной антенне?
5. Какая из исследованных антенн имеет более широкую полосу пропускания и почему?

6. В каких практических применениях используются антенны Яги-Уда и спиральные антенны?

3 семестр

Практические занятия №1-7.*Проектирование и согласование антенны для прикладной задачи (Wi-Fi/ГНСС)*

Цели:

1. Применить полученные знания для решения комплексной задачи проектирования антенны под конкретные технические требования.
2. Освоить методику согласования импеданса антенны с фидерной линией с помощью matchingcircuit или непосредственной оптимизации геометрии.
3. Исследовать влияние конструкции корпуса на параметры антенны.

Приборы и принадлежности:

1. Персональный компьютер.
2. Программное обеспечение: CST StudioSuite.

Задания:

1. Выбрать и обосновать тип антенны для заданного применения (например, PIFA или монополь для Wi-Fi 2.4 ГГц; квадратный или круглый патч для ГНСС ~1.6 ГГц).
2. Рассчитать исходную геометрию и создать модель антенны в CST. Добиться резонанса на требуемой частоте.
3. Методом параметрической оптимизации добиться выполнения требований по КСВ (< 2.0 в рабочей полосе).
4. (Продвинутый уровень) Создать простую модель корпуса устройства и проанализировать деградацию параметров антенны.
5. Проанализировать итоговые характеристики: КСВ, ДН, эффективность, поляризацию.

Контрольные вопросы:

1. Каковы были основные требования к антенне в вашем задании?
2. Какие параметры антенны оказалось наиболее сложно оптимизировать и почему?
3. Какие методы согласования импеданса вы знаете и какой был использован в работе?
4. Как наличие корпуса влияет на резонансную частоту и входное сопротивление антенны?
5. Что такое эффективность антенны и от каких факторов она зависит в вашей модели?
6. Предложите пути дальнейшего улучшения характеристик разработанной антенны.

Практические занятия № 8-14.*Верификация модели и анализ результатов. Сравнение с экспериментальными данными*

Цели:

1. Научиться оценивать достоверность результатов численного моделирования.
2. Освоить методику верификации электродинамической модели.
3. Получить навыки обработки и анализа реальных экспериментальных данных в MATLAB.

Приборы и принадлежности:

1. Персональный компьютер.
2. Программное обеспечение: CST StudioSuite, MATLAB.
3. Файл с экспериментальными данными (КСВ, ДН).

Задания:

1. Взять за основу модель антенны из одной из предыдущих работ (например, МПА из ЛР2). Провести расчет с последовательным сгущением mesh-сетки. Построить график

сходимости ключевого параметра (например, резонансной частоты) и обосновать выбор mesh-настройки.

2. Загрузить в MATLAB предоставленный файл с экспериментальными данными (КСВ и ДН). Построить графики.

3. Провести моделирование в CST антенны, идентичной измеренной. Получить те же характеристики (КСВ, ДН).

4. Наложить графики результатов моделирования и эксперимента. Провести сравнительный анализ, выявить и объяснить возможные расхождения.

5. Сделать вывод о точности численной модели и возможных источниках погрешностей.

Контрольные вопросы:

1. Что такое верификация и валидация модели и в чем между ними разница?
2. Почему важно проводить анализ сходимости по сетке?
3. Какие факторы в численном моделировании (CST) могут быть источниками погрешностей?
4. Какие факторы в реальном эксперименте по измерению антенн могут быть источниками погрешностей?
5. Как наличие кабеля и соединителей влияет на измерение КСВ?
6. Почему при измерении ДН в безэховой камере могут наблюдаться небольшие искажения?
7. Какие меры можно предпринять для уменьшения расхождений между моделью и экспериментом?

Самостоятельная работа

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:

– актуальность и исторический контекст;
– физические и математические основы;
– ключевые параметры и критерии эффективности;
– практическая реализация и примеры применения;
– ограничения, проблемы и перспективы развития.

В каждом семестре студент получает минимум 5 вопросов для самостоятельного изучения.

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельное изучение

1. Метод конечных разностей во временной области (FDTD): принципы и применение в антенном моделировании.
2. Метод конечных элементов (FEM) в частотной области: особенности и сравнительный анализ.
3. Метод моментов (MoM) и быстрые алгоритмы (FMM, MLFMM).
4. Метод физической оптики (PO) и гибридные методы (MoM-PO, FEM-PO).
5. Технология DomainDecomposition (DDM) для распределенных вычислений.
6. Методы обеспечения сверхширокополосности (UWB) в вибраторных антеннах.
7. Проектирование антенн с реконфигурируемой диаграммой направленности.
8. Антенны с реконфигурируемой рабочей частотой.
9. Антенны на основе метаматериалов.

10. Частично полостные резонансные антенны (CRA).
11. Частотно-селективные поверхности (FSS) в антенных системах.
12. Антенны на основе топологической оптики.
13. Антенны для систем «Интернета вещей» (IoT).
14. Антенны для носимой электроники.
15. Антенны для систем 5G/6G миллиметрового диапазона.
16. Антенны для квантовых компьютеров.
17. Нелинейные эффекты в антеннах и генерация гармоник.
18. Алгоритмы машинного обучения в САПР антенн.
19. Скриптовая обработка результатов моделирования (Python/MATLAB).
20. Методика калибровки виртуальных измерительных стендов.
21. Моделирование установочных искажений антенн.
22. Тепловое моделирование мощных передающих антенн.
23. Механические воздействия на антенные системы.
24. Международные стандарты и нормативы в антенном проектировании.

6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

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
Максимальная оценка	**10**

Оценка «зачтено» - 5 баллов и более; оценка «не зачтено» - менее 5 баллов.

2. Выполнение и защита практической работы (задания к практическим занятиям и вопросы для защиты приведены в планах практических занятий)

Критерии оценивания практической работы

Показатель	Количество баллов
1) Практическая работа выполнена вовремя на соответствующем занятии в соответствии расписанием	1
2) По результатам выполнения практической работы получены корректные результаты и данные	1
3) Отчет по практической работе соответствует шаблону и содержит все необходимые пункты	1
4) Отчет по практической работе включает в себя результаты моделирования по всем обязательным пунктам задания	1
5) Отчет по практической работе содержит все необходимые чертежи и графики	1
6) На защите практической работы студент дал правильные и полные ответы на поставленные преподавателем контрольные вопросы (5 вопросов)	1* 5 вопросов
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 10

Оценка «зачтено» – 3 балла и более по результатам выполнения практической работы (п.1-5 критериев оценивания) и 3 балла и более по результатам защиты практической работы (п. 6 критериев оценивания), оценка «не зачтено» - менее 3 баллов по результатам выполнения практической работы и/или менее 3 баллов по результатам защиты практической работы.

6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

Форма промежуточной аттестации – **зачет**

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, ведущий практические занятия по дисциплине «Основы автоматизации проектирования антенных систем», преподаватель кафедры – независимый эксперт. Зачет проходит в форме просмотра портфолио.

Требования к структуре и содержанию портфолио

Портфолио студента включает в себя следующие виды деятельности и их оценки:

№ п/п	Вид деятельности	Количество заданий	Пороговая оценка	Максимальная оценка
1.	Конспекты ответов на вопросы, выносимые на самостоятельное обучение	5 вопросов	25	50
3.	Выполнение и защита практической работы	16 практических работ (1,2 семестр)	96	160
		14 практических работ (3	84	140

		семестр)		

Критерии и показатели оценивания портфолио по уровням

Уровень	Критерии и показатели оценивания
10 баллов	По результатам оценки портфолио набрано 93-100% от максимально возможного количества баллов, при этом по всем видам деятельности достигнуты пороговые значения
9 баллов	По результатам оценки портфолио набрано 86-92% от максимально возможного количества баллов, при этом по всем видам деятельности достигнуты пороговые значения
8 баллов	По результатам оценки портфолио набрано 79-85% от максимально возможного количества баллов, при этом по всем видам деятельности достигнуты пороговые значения
7 баллов	По результатам оценки портфолио набрано 71-78% от максимально возможного количества баллов, при этом по всем видам деятельности достигнуты пороговые значения
6 баллов	По результатам оценки портфолио набрано 64-70% от максимально возможного количества баллов, при этом по всем видам деятельности достигнуты пороговые значения
5 баллов	По результатам оценки портфолио набрано 57-63% от максимально возможного количества баллов, при этом по всем видам деятельности достигнуты пороговые значения
4 балла	По результатам оценки портфолио набрано 50-56% от максимально возможного количества баллов, при этом по всем видам деятельности достигнуты пороговые значения
3 балла	По результатам оценки портфолио набрано 36-49% от максимально возможного количества баллов и/или хотя бы по одному из видов деятельности не достигнуто пороговое значение
2 балла	По результатам оценки портфолио набрано 21-45% от максимально возможного количества баллов и/или хотя бы по одному из видов деятельности не достигнуто пороговое значение
1 балл	По результатам оценки портфолио набрано менее 21% от максимально возможного количества баллов и/или хотя бы по одному из видов деятельности не достигнуто пороговое значение

Таблица перевода оценок из 10-ти бальной системы в бинарную систему

Оценка по 10-ти бальной системе	Оценка по бинарной системе
10, 9, 8, 7,6,5,4	зачтено
3, 2, 1	не зачтено

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

7.1. Основная литература

1. Кривин Н. Н. Методология проектирования. Электронные и радиоэлектронные средства: учебник для вузов / Н. Н. Кривин. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 192 с. — URL: https://urait.ru/bcode/581869.

2. Миловзоров О. В. Электроника: учебник для вузов / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 397 с. – URL: https://urait.ru/bcode/559878.

3. Вадутов О. С. Электроника. Математические основы обработки сигналов: учебник и практикум для вузов / О.С. Вадутов. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 307 с. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: https://urait.ru/bcode/470165.

4. Трухин М. П. Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств. Лабораторный практикум: учебник для вузов / М. П. Трухин ; под научной редакцией В. Э. Иванова. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 134 с. – URL:

https://urait.ru/bcode/562927.

7.2. Дополнительная литература

1. Гошин Г.Г. Антенны и фидеры. Сборник задач с формулами и решениями: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2003. – 242 с.

2. Мительман Ю.Е., Абдуллин Р.Р., Сычугов С.Г., Шабунин С.Н. Антенны и устройства СВЧ: расчет и измерение характеристик: учебное пособие для вузов / под общ. ред. Ю.Е. Мительмана. – Москва: Юрайт, 2022. – 138 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-08002-5. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт. – URL: https://urait.ru/bcode/492640

3. Креницкий А.П., Мещанов В.П. (ред.) Сверхширокополосные микроволновые устройства. – М.: Радио и связь, 2001. – 560 с.

4. Пименов Ю.В. Техническая электродинамика: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2002. – 536 с.

5. Антенны: Лабораторный практикум / Фатеев А.В., Запасной А.С., Клоков А.В. – Томск: ТУСУР, 2018. – 66 с. – Текст: электронный // ЭБС ТУСУР. – URL: https://edu.tusur.ru/publications/8227

6. Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М. Устройства СВЧ и антенны: Проектирование фазированных антенных решеток: учебное пособие для вузов. – М.: Радиотехника, 2006. – 375 с.

7. Ерохин Г.А., Козырев Н.Д., Чернов В.П. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов. – 2-е изд. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 560 с.

8. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.

9. Нефёдов Е.И. Устройства СВЧ и антенны: учебное пособие для вузов. – М.: Академия, 2009. – 384 с.

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. **https://www.analog.com/** – Официальный сайт AnalogDevices с технической документацией, applicationnotes и примерами проектов синтезаторов частот.
2. **https://www.ti.com/** – Официальный сайт TexasInstruments с ресурсами по проектированию синтезаторов частот и инструментами проектирования.
3. **https://www.ieee.org/** – Сайт IEEE с научными статьями и публикациями по синтезаторам частот и смежным темам.
4. **https://www.microwaves101.com/** – Энциклопедия микроволновой техники с разделами по синтезаторам частот и PLL.
5. **https://www.rfglobalnet.com/** – Ресурс для RF-инженеров с техническими статьями и новостями в области синтезаторов частот.
6. **https://www.edaboard.com/** – Международный форум по электронике с разделами по проектированию синтезаторов.
7. **https://www.allaboutcircuits.com/** – Образовательный ресурс с техническими статьями и учебными материалами по синтезаторам частот.
8. **https://www.gaussianwaves.com/** – Блог с техническими статьями по проектированию синтезаторов и цифровой обработке сигналов.
9. **https://www.electronics-notes.com/** – Ресурс с учебными материалами по синтезаторам частот и RF-технике.
10. **https://www.qsl.net/** – База знаний для радиолюбителей с практическими материалами по синтезаторам частот.

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 (лабораторных занятий), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная стандартной учебной мебельюи оборудованием, необходимым для проведения лабораторных работ.

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

9. Программное обеспечение

MicrosoftOpenLicense (Windows 8, 10, Server, Office 2003-2016), лицензия 66975477 от 03.06.2016 (бессрочно).

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