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.ДВ.02.02Методы вычислительного эксперимента

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 – 1
Всего зачетных единиц – 2; часов – 72
Форма отчетности: зачет – 1 семестр.

Программу разработал: кандидат технических наук П.А. Жигунов

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

Заведующий кафедрой _____ А.В. Зайцев

Смоленск
2025

1.Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Методы вычислительного эксперимента» включена в часть,формируемую участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору),основной 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 «Методы вычислительного эксперимента» 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 «Методы вычислительного эксперимента» 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 «Методы вычислительного эксперимента» 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.

3. Содержание дисциплины

Основы статистической обработки данных

Введение в теорию эксперимента и обработку данных. Основные понятия статистики и обработки данных. Генеральная совокупность и выборка. Репрезентативность выборки. Точечные и интервальные оценки параметров. Проверка статистических гипотез. Распределения вероятностей.

Анализ взаимосвязей и регрессионный анализ

Корреляционный анализ в радиотехнике. Функциональные и статистические связи. Корреляционная зависимость. Ковариация и коэффициент корреляции Пирсона. Ранговые коэффициенты корреляции. Корреляционное отношение.

Регрессионный анализ и построение моделей. Цель регрессионного анализа. Метод наименьших квадратов. Парная и множественная линейная регрессия. Нелинейная регрессия. Интерпретация моделей для прогнозирования характеристик радиосистем.

Дисперсионный анализ и оптимизация

Дисперсионный анализ для оценки влияния факторов. Основная идея ANOVA. Однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ. Проверка гипотез о равенстве средних нескольких групп. Применение в радиотехнике.

Оптимизация с применением методов планирования эксперимента. Полный факторный эксперимент (ПФЭ). Матрица планирования. Кодирование факторов. Свойства матриц ПФЭ. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ). Конфундирование оценок. Выбор дробной реплики.

Современные подходы и методы оптимизации

Анализ адекватности моделей и современные методы оптимизации. Дисперсия адекватности. F-критерий для проверки адекватности. ЦКП для описания нелинейных поверхностей отклика. Современные пакеты для анализа данных (MATLAB, R, Python).

Интеграция методов планирования эксперимента в проектирование радиоэлектронных средств. Организация сквозного процесса проектирования с учётом методик планирования эксперимента. Оптимизация характеристик радиоэлектронных систем на всех стадиях жизненного цикла продукта.

4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий			
			Лекции	Практи-ческие занятия	Лабора-торные занятия	Самостоя-тельная работа
1.	**Основы статистической обработки данных**	**18**	**4**	**-**	**4**	**10**
1.1	Введение в теорию эксперимента и обработку данных	18	4	-	4	10
2.	**Анализ взаимосвязей и регрессионный анализ**	**20**	**4**	**-**	**4**	**12**
2.1	Корреляционный анализ в радиотехнике	10	2	-	2	6
2.2	Регрессионный анализ и построение моделей	10	2	-	2	6
3.	**Дисперсионный анализ и оптимизация**	**22**	**4**	-	**6**	**12**
3.1	Дисперсионный анализ для оценки влияния факторов	12	2	-	4	6
3.2	Оптимизация с применением методов планирования эксперимента	10	2	-	2	6
4.	**Современные подходы и методы оптимизации**	**12**	**4**	**-**	**2**	**6**
4.1	Анализ адекватности моделей и современные методы оптимизации. Интеграция методов планирования эксперимента в проектирование радиоэлектронных средств	12	4	-	2	6
	ИТОГО	**72**	**16**	**-**	**16**	**40**

5. Виды учебной деятельности
Занятия лекционного типа

Лекция № 1.*Введение в теорию эксперимента. Основы статистической обработки данных.*Цель и задачи планирования эксперимента. Роль в радиотехнике (оптимизация схем, анализ ЭМС, обработка сигналов).Основные понятия: фактор, отклик, уровень варьирования, «черный ящик», помехи.Генеральная совокупность и выборка. Репрезентативность. Точечные и интервальные оценки параметров: выборочное среднее, дисперсия, СКО, медиана, мода.Построение и интерпретация гистограмм и полигонов распределения.

Лекция № 2.*Проверка статистических гипотез и оценка законов распределения.*Нормальный закон распределения и его значение в радиотехнике (шумы, ошибки).Другие распределения вероятностей: Рэлея (огибающая сигнала), Экспоненциальное, Вейбулла.Понятие статистической гипотезы. Нулевая и альтернативная гипотезы. Ошибки первого и второго рода. Уровень значимости.Критерии согласия: Хи-квадрат (Пирсона) и Колмогорова для проверки соответствия эмпирического распределения теоретическому.

Лекция № 3.*Корреляционный анализ в радиотехнике.*Виды связей: функциональная и статистическая. Корреляционная зависимость.Ковариация и коэффициент корреляции Пирсона. Выборочный коэффициент корреляции, его свойства и интерпретация.Поле корреляции. Ранговые коэффициенты корреляции (Спирмена, Кендалла).Корреляционное отношение для нелинейных связей.Примеры в радиотехнике: корреляция между мощностью сигнала и BER, взаимная корреляция сигналов.

Лекция № 4.*Регрессионный анализ и построение моделей.*Цель регрессионного анализа – построение модели «отклик-факторы».Метод наименьших квадратов (МНК) для оценки параметров модели.Парная линейная регрессия. Оценка коэффициентов, их статистическая значимость (t-статистика).Множественная линейная регрессия.Нелинейная регрессия: приведение к линейному виду (логарифмирование), полиномиальная регрессия.Интерпретация моделей для прогнозирования характеристик радиосистем.

Лекция № 5.*Дисперсионный анализ для оценки влияния факторов.*Основная идея дисперсионного анализа (ANOVA): сравнение межгрупповой и внутригрупповой дисперсии.Однофакторный дисперсионный анализ. Проверка гипотезы о равенстве средних нескольких групп.Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений и с повторениями. Учет взаимодействия факторов.F-критерий Фишера для проверки значимости влияния факторов.Применение в радиотехнике: сравнение разных алгоритмов обработки, материалов антенн, конфигураций схем.

Лекция № 6.*Стратегии планирования эксперимента: ПФЭ и ДФЭ.*Полный факторный эксперимент (ПФЭ). Матрица планирования для k факторов.Кодирование факторов. Свойства матриц ПФЭ (ортогональность, симметричность).Расчет коэффициентов линейной модели по данным ПФЭ.Дробный факторный эксперимент (ДФЭ) для сокращения числа опытов. Генерирующие соотношения, реплики.Понятие смешанности оценок (конфундирования). Выбор дробной реплики.

Лекция № 7,8.*Современные методы оптимизации и подведение итогов.*Анализ адекватности модели. Дисперсия адекватности. F-критерий для проверки адекватности.Стратегия движения в область оптимума: метод крутого восхождения (гауссовский градиентный метод).Планы второго порядка (центральный композиционный план) для описания нелинейных поверхностей отклика.Обзор современных пакетов для анализа данных и планирования эксперимента (MATLAB StatisticsToolbox, R, PythonSciKit-learn).Интеграция методов планирования эксперимента в сквозной процесс проектирования радиоэлектронных средств.

Занятия семинарского типа (лабораторные занятия)

Лабораторная работа № 1,2.*Статистический анализ данных радиосигнала*

Цели работы:

– Освоение базовых методов статистического анализа радиосигналов.

–Оценка основных статистических характеристик радиосигнала: математического ожидания, дисперсии, коэффициента вариации.

– Проведение анализа и визуализации распределения амплитуд радиосигнала.

Приборы и принадлежности:

Осциллограф, генератор радиочастотных сигналов, компьютер с установленным пакетом Mathcad или MATLAB, программное обеспечение для анализа данных.

Задания:

1. Установите параметры генератора радиочастотных сигналов и получите сигнал на экране осциллографа.

2. Зарегистрируйте отсчеты амплитуды радиосигнала в диапазоне заданного временного окна.

3. Постройте гистограмму распределения амплитуд сигнала и проанализируйте её форму.

4. Определите математическое ожидание, дисперсию и коэффициент вариации амплитуды сигнала.

5. Сделайте вывод о характере распределения сигнала (нормальное, логнормальное, другое).

6. Повторите задание 1–5 для зашумленного сигнала.

Контрольные вопросы:

1. Какие показатели характеризуют центральную тенденцию распределения данных?
2. Что такое дисперсия и коэффициент вариации сигнала?
3. Почему важны гистограммы при анализе сигналов?
4. Назовите признаки нормального распределения сигнала.
5. Как влияют шумовые компоненты на статистику сигнала?
6. Зачем нужны статистические методы при обработке радиосигналов?

Лабораторная работа №3.*Исследование корреляционных зависимостей в радиоканале*

Цели работы:

– Ознакомление с основными видами корреляционных зависимостей.

– Определение степени связи между параметрами радиоканала.

– Исследование влияния внешних факторов на корреляционную зависимость сигналов.

Приборы и принадлежности:

Радиоприёмник, генератор тестовых сигналов, анализатор спектра, измерительная антенна, ноутбук с установленным ПО Matlab.

Задания:

1. Настройте оборудование и обеспечьте стабильную передачу тестового сигнала.

2. Запишите временные ряды принятых сигналов при изменениях дальности передачи.

3. Проверьте наличие корреляционной зависимости между изменением мощности передатчика и уровня приёма сигнала.

4. Рассчитайте коэффициент корреляции Пирсона для исследуемых сигналов.

5. Оцените наличие автокорреляции и лаг-корреляции сигналов.

6. Проанализируйте, как внешние факторы (например, погодные условия) влияют на корреляцию.

Контрольные вопросы:

1. Что такое корреляционная зависимость и как её определить?
2. Какие существуют виды корреляций?

3. В чём разница между корреляцией и причинно-следственной связью?
4. Какие инструменты помогают обнаружить корреляцию?
5. Приведите примеры, когда корреляция полезна в радиосвязи.
6. Как интерпретируется коэффициент корреляции?

Лабораторная работа № 4.*Построение и анализ линейной регрессионной модели усилителя*

Цели работы:

– Освоение принципов построения регрессионных моделей.
– Анализ влияния конструктивных особенностей усилителей на выходной сигнал.
– Прогнозирование поведения усилителя на основе построенной модели.

Приборы и принадлежности:

Генератор сигналов, широкополосный усилитель, мультиметр, ПК с установленной программой для моделирования (MathCad, MATLAB).

Задания:

1. Задайте диапазон изменений входного сигнала усилителя.
2. Создайте регрессионную модель, описывающую поведение усилителя.
3. Оцените параметры модели (коэффициенты регрессии, стандартные ошибки).
4. Постройте графики зависимости выхода усилителя от входа.
5. Сделайте прогноз работы усилителя при других входных сигналах.
6. Оцените адекватность модели, применяя критерий Фишера.

Контрольные вопросы:

1. Что такое регрессионный анализ и зачем он нужен?
2. Какова структура линейной регрессионной модели?
3. Что такое коэффициент детерминации и как его интерпретировать?
4. Как оценить статистическую значимость коэффициентов регрессии?
5. Что означает адекватность регрессионной модели?
6. Какие преимущества даёт регрессионная модель в радиотехнике?

Лабораторная работа № 5.*Однофакторный дисперсионный анализ для сравнения алгоритмов*

Цели работы:

– Овладеть методами однофакторного дисперсионного анализа.
– Сравнить эффективность различных алгоритмов обработки сигналов.
– Сделать выводы о предпочтительности одного из подходов.

Приборы и принадлежности:

Компьютер с установленными пакетами анализа данных (SPSS, Excel, MATLAB).

Задания:

1. Подготовьте данные о скорости обработки сигналов разными алгоритмами.
2. Проведите однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA).
3. Определите значимость различий между группами (разными алгоритмами).
4. Используйте апостериорный анализ (например, тесты Бонферрони или Тьюки) для уточнения выводов.
5. Представьте результаты анализа в виде таблицы и графиков.
6. Сформулируйте рекомендации по выбору наилучшего алгоритма.

Контрольные вопросы:

1. Что такое дисперсионный анализ и когда он применяется?
2. Какие предпосылки необходимы для проведения ANOVA?
3. Как работает однофакторный дисперсионный анализ?
4. Какие метрики используются для оценки значимости различий?
5. Зачем нужен апостериорный анализ?

6. В чём принципиальное различие между одно- и двухфакторным дисперсионным анализом?

Лабораторная работа №6.*Двухфакторный дисперсионный анализ влияния параметров антенны*

Цели работы:

– Изучить влияние двух факторов на параметры приёмной антенны.

– Оценить значимость взаимодействия факторов.

– Выбрать оптимальное сочетание параметров антенны.

Приборы и принадлежности:

Антенна, высокочувствительный приёмник, генераторы радиочастотных сигналов, измерительные приборы, компьютер с программным обеспечением для анализа данных.

Задания:

1. Выберите два значимых параметра антенны (например, длина волны и угол установки).
2. Изменяйте параметры и зафиксируйте изменения чувствительности антенны.
3. Выполните двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA).
4. Оцените значимость влияния каждого фактора и их взаимодействия.
5. Постройте график взаимодействия факторов.
6. Сделайте выводы о лучшем сочетании параметров антенны.

Контрольные вопросы:

1. Чем отличается двухфакторный дисперсионный анализ от однофакторного?
2. Что такое взаимодействие факторов и как его оценить?
3. Какие факторы обычно влияют на чувствительность антенны?
4. Как определить значимость влияния факторов в двухфакторном ANOVA?
5. В чём преимущество двухфакторного анализа?
6. Что означают зоны устойчивости на графике взаимодействия факторов?

Лабораторная работа № 7.*Планирование полного факторного эксперимента для оптимизации фильтра низких частот (ФНЧ)*

Цели работы:

– Освоить методику планирования полного факторного эксперимента.

– Провести исследование влияния нескольких факторов на характеристики ФНЧ.

– Подобрать оптимальный набор параметров фильтра.

Приборы и принадлежности:

Осциллограф, генератор сигналов, фильтр низких частот, измерительная установка, ПК с программным обеспечением для анализа данных.

Задания:

1. Определите факторы, влияющие на пропускную способность ФНЧ (например, индуктивность катушки, ёмкость конденсатора).
2. Составьте матрицу полного факторного эксперимента.
3. Проведите измерения при различных сочетаниях факторов.
4. Постройте модель регрессии, оценив влияние каждого фактора.
5. Предскажите реакцию фильтра при новых значениях факторов.
6. Найдите оптимальное сочетание параметров фильтра.

Контрольные вопросы:

1. Что такое полный факторный эксперимент и когда он применяется?
2. Какие параметры ФНЧ подлежат оптимизации?
3. Как составить матрицу планирования эксперимента?
4. Как оценивается значимость факторов в полном факторном эксперименте?
5. Какая модель используется для прогнозирования реакции фильтра?

6. Как найти оптимальные параметры фильтра на основе полного факторного эксперимента?

Лабораторная работа № 8.*Оптимизация параметров системы связи методом крутого восхождения*

Цели работы:

– Изучить метод крутого восхождения для оптимизации параметров радиосистемы.

– Минимизировать ошибки передачи сигнала в канале связи.

– Оценить устойчивость системы к внешним изменениям.

Приборы и принадлежности:

Система передачи данных, имитирующая реальные условия каналов связи, ПК с установленным программным обеспечением для моделирования (Simulink, LabVIEW).

Задания:

1. Подготовьте тестовую среду с возможностью изменения параметров передачи (например, скорость передачи, модулирующий сигнал).

2. Постройте начальную линейную модель зависимости качества сигнала от параметров.

3. Примените метод крутого восхождения для улучшения параметров системы.

4. Выполните серию итераций оптимизации, двигаясь в направлении наибольшего улучшения.

5. Докажите достижение оптимальной конфигурации системы.

6. Оцените устойчивость системы к изменению окружающих условий.

Контрольные вопросы:

1. Что такое метод крутого восхождения и как он применяется?

2. Какие параметры радиосистемы обычно оптимизируются?

3. Как строится линейная модель в методе крутого восхождения?

4. Как определить направление дальнейшего шага оптимизации?

5. В чём преимущества метода крутого восхождения перед другими методами оптимизации?

6. Какие практические ограничения накладывает метод крутого восхождения?

Самостоятельная работа

1. Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ.

Методические рекомендации для студентов по организации самостоятельной подготовки к лабораторным занятиям. Подготовка к лабораторным занятиям включает в себя изучение теоретического материала по теме занятия, подготовку ответов на вопросы к защите лабораторной работы, а также, в случае необходимости, обработку результатов измерений и вычисление погрешностей. Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы приведены в планах лабораторных занятий. Выполнение студентами данного вида самостоятельной работы проверяется преподавателем на соответствующем лабораторном занятии.

Выполнение лабораторной работы включает в себя три основных этапа:

1) *Самостоятельная подготовка студента к выполнению лабораторной работы*. На данном этапе студент самостоятельно изучает методические указания по выполнению лабораторной работы, учебную литературу по теме лабораторной работы, выполняет заготовку отчета и изучает программы автоматизации проектирования.

2) *Выполнение лабораторной работы (проведение эксперимента) и обработка экспериментальных данных*. На данном этапе студент получает допуск к выполнению лабораторной работы и проводит эксперимент, занося полученные данные в заготовку отчета. Все результаты моделирования и проектирования обязательно контролируются преподавателем, который отмечает их правильность своею подписью в отчете. Затем студент самостоятельно проводит необходимый анализ, а при необходимости обработку результатов эксперимента и на основании полученных данных делает вывод о достижении цели лабораторной работы.

3) *Защита лабораторной работы* включает в себя проверку преподавателем письменного отчета студента о выполненной лабораторной работе, а также беседу преподавателя со студентом по вопросам, касающимся теории изучаемого явления, методики проведения моделирования или автоматизированного проектирования, обработки полученных экспериментальных данных.

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 развития, появления метода или его текущее состояние;

– основные ключевые понятия, математические основы рассматриваемого метода;

– основные формулы, уравнения, критерии оценки, используемые для описания и анализа процесса;

– качественные и количественные показатели, используемые для оценки эффективности вычислительных экспериментов. Примеры критериев оценки и сравнительного анализа методов.

– описание конкретных примеров использования методов вычислительного эксперимента в научной и технической практике. Иллюстративные случаи из областей прикладной математики, физики, информатики и других смежных наук.

– обзор текущих проблем и трудностей, возникающих при внедрении методов вычислительного эксперимента. Перспективы развития и пути преодоления существующих барьеров.

Конспекты, составленные студентами, проверяются преподавателем во время лабораторных занятий, зачета.

Студент на выбор составляет конспекты по 10 вопросам, выносимым на самостоятельное изучение.

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельное изучение

1. Теорема Байеса и её применение для обновления статистических оценок в условиях неопределённости (на примере радиолокации).

2. Методы робастной статистики: устойчивые оценки параметров (медиана, усечённое среднее, М-оценки) и их применение для обработки зашумлённых сигналов с аномальными выбросами.

3. Бутстреп-методы (bootstrap) и методы повторной выборки: принципы, алгоритмы и применение для построения доверительных интервалов сложных статистик, когда теоретическое распределение неизвестно.

4. Понятие энтропии в теории информации (энтропия Шеннона) и её связь с мерами dispersion данных в радиотехнике.

5. Сравнительный анализ различных мер центральной тенденции (среднее, медиана, мода) и их устойчивости к различным типам помех в радиоканалах.

6. Методы проверки на нормальность, отличные от критерия Пирсона и Колмогорова (например, критерии Шапиро-Уилка, Андерсона-Дарлинга). Их преимущества и недостатки.

7. Многомерное нормальное распределение: свойства, функция плотности и его роль в анализе многоканальных систем связи.

8. Частная и множественная корреляция: понятие, расчет, интерпретация. Устранение влияния побочных факторов.

9. Методы непараметрической корреляции, отличные от Спирмена и Кендалла (например, коэффициент корреляции Кендалла τ-b для таблиц сопряжённости).

10. Автокорреляционная функция (АКФ) и её применение для анализа скрытой периодичности в шумовых радиосигналах.

11. Взаимнокорреляционная функция (ВКФ) и её использование для измерения временных задержек между сигналами в радиолокации и гидролокации.

12. Понятие мультиколлинеарности в множественной регрессии: методы диагностики (фактор инфляции дисперсии VIF) и способы борьбы с ней (ридж-регрессия, главные компоненты).

13. Обобщённый метод наименьших квадратов (GLS) и его применение в случае гетероскедастичности ошибок модели.

14. Логистическая регрессия: область применения, интерпретация коэффициентов. Пример использования для прогнозирования бинарных событий (например, наличие/отсутствие ошибки в пакете данных).

15. Методы регуляризации регрессии (Lasso, Ridge) – принцип, отличие от МНК, применение для отбора наиболее значимых факторов в задачах с большим количеством переменных.

16. Предпосылки применения дисперсионного анализа (нормальность распределения, гомоскедастичность, независимость) и методы проверки их выполнения (критерий Левина, Бартлетта).

17. Непараметрические аналоги дисперсионного анализа (критерий Крускала-Уоллиса для однофакторного и критерий Фридмана для двухфакторного плана). Их применение при нарушении предпосылок ANOVA.

18. Многофакторный дисперсионный анализ (более двух факторов): принцип организации эксперимента, интерпретация взаимодействий высокого порядка.

19. Планы с повторными измерениями (repeatedmeasures ANOVA): особенности проведения и анализа данных, где одна и та же тестовая группа измеряется несколько раз.

20. Методы обработки пропущенных данных (missingdata) в экспериментальных планах: простое удаление, импутация средним, методы множественной импутации.

21. Принцип ортогональности в планах эксперимента. Как он обеспечивает независимость оценок коэффициентов регрессии?

22. Планы Плаккетта-Бермана как альтернатива дробным репликам для скрининговых экспериментов с большим числом факторов.

23. Методы расщепления (screening) эксперимента: последовательные стратегии для идентификации действительно значимых факторов из большого начального набора.

24. Методы анализа выживаемости (survivalanalysis) и их потенциальное применение в радиотехнике для анализа надёжности и времени наработки на отказ радиоэлектронных компонентов.

25. Байесовские методы планирования эксперимента: отличие от классического подхода, априорные и апостериорные распределения.

26. Методология поверхности отклика (ResponseSurfaceMethodology, RSM): общая концепция, последовательность действий для поиска оптимума.

27. D-оптимальные и другие оптимальные планы: принципы построения для нелинейных моделей или экспериментов в ограниченной области факторного пространства.

28. D-оптимальные и другие оптимальные планы: принципы построения для нелинейных моделей или экспериментов в ограниченной области факторного пространства.

29. Метод случайного поиска, генетические алгоритмы и их сравнение с методом крутого восхождения для задач оптимизации радиосистем.

30. Анализ главных компонент (PCA) для снижения размерности данных в радиотехнических экспериментах.

31. Машинное обучение в планировании эксперимента: использование алгоритмов машинного обучения для построения суррогатных моделей и их оптимизации.

32. Кригинг (Kriging) и гауссовские процессы как продвинутые методы для построения нелинейных моделей отклика в задачах пространственного анализа (например, оптимизация размещения антенн).

33. Сравнительный обзор возможностей пакетов R, Python (Scikit-learn, Statsmodels) и MATLAB для решения задач планирования эксперимента и регрессионного анализа.

34. Обзор специализированного ПО для планирования эксперимента (например, JMP, Design-Expert, Minitab). Их ключевые особенности и преимущества.

35. Принципы написания скриптов для автоматизации процесса анализа данных и построения моделей в среде Python или R.

36. Визуализация многомерных данных: методы представления результатов сложных экспериментов (например, взаимодействие трёх факторов).

37. Концепция «Цифрового двойника» (Digital Twin) и роль методов вычислительного эксперимента в его создании и верификации для радиоэлектронных средств.

38. Применение методов планирования эксперимента на этапе технологической подготовки производства (ТПП) радиоаппаратуры для оптимизации режимов сборки и пайки.

39. Статистический приемочный контроль (SPC) на основе методов статистического анализа данных: контрольные карты Шухарта для мониторинга стабильности параметров продукции.

40. Экономические аспекты планирования эксперимента: расчёт стоимости эксперимента, оценка экономического эффекта от снижения варьирования и повышения качества продукции.

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
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 10

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

2. Выполнение и защита лабораторной работы (задания к лабораторным занятиям и вопросы для защиты приведены в планах лабораторных занятий)

Критерии оценивания лабораторной работы

Показатель	Количество баллов
1) Лабораторная работа выполнена вовремя на соответствующем занятии в соответствии расписанием	1
2) По результатам выполнения лабораторной работы получены корректные результаты и данные	1
3) Отчет по лабораторной работе соответствует шаблону и содержит все необходимые пункты	1
4) Отчет по лабораторной работе включает в себя результаты моделирования по всем обязательным пунктам задания	1
5) Отчет по лабораторной работе содержит все необходимые чертежи и графики	1
6) На защите лабораторной 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 лабораторной работы (п.1-5 критериев оценивания) и 3 балла и более по результатам защиты лабораторной работы (п. 6 критериев оценивания), оценка «не зачтено» - менее 3 баллов по результатам выполнения лабораторной работы и/или менее 3 баллов по результатам защиты лабораторной работы.

3. Тест

1. Что из перечисленного является ключевой целью планирования эксперимента в радиотехнике?
а) Увеличить количество опытов
б) Уменьшить количество опытов при сохранении достоверности результатов
в) Полностью исключить влияние помех
г) Оптимизировать характеристики систем (схем, алгоритмов)

2. Выборка считается репрезентативной, если она:
а) Очень большого размера
б) Правильно отражает свойства генеральной совокупности
в) Получена с помощью дорогостоящего оборудования
г) Подчиняется нормальному закону распределения

3. Нормальное распределение является важным в радиотехнике, так как ему подчиняется:
а) Огибающая узкополосного случайного сигнала
б) Отношение сигнал/шум
в) Собственный шум резисторов и транзисторов
г) Детерминированный гармонический сигнал

4. Если коэффициент корреляции Пирсона между мощностью сигнала и уровнем ошибок (BER) равен -0.92, это означает, что:

а) Связь между мощностью и BER слабая и прямая
б) Связь между мощностью и BER сильная и обратная
в) Мощность сигнала является причиной увеличения BER
г) Между мощностью и BER нет никакой связи

5. Основная цель регрессионного анализа – это:
а) Проверка гипотезы о равенстве средних
б) Установление корреляционной связи между переменными
в) Построение математической модели связи между откликом и факторами
г) Определение закона распределения случайной величины

6. Метод наименьших квадратов (МНК) используется для:
а) Проверки адекватности модели
б) Оценки параметров (коэффициентов) регрессионной модели
в) Проведения дисперсионного анализа
г) Расчета коэффициента корреляции

7. Основная идея дисперсионного анализа (ANOVA) заключается в:
а) Сравнении выборочного среднего с теоретическим
б) Разложении общей дисперсии на компоненты и сравнении их
в) Построении линии регрессии
г) Проверке распределения на нормальность

8. F-критерий Фишера в дисперсионном анализе используется для:
а) Проверки значимости влияния факторов на отклик
б) Проверки значимости коэффициентов регрессии
в) Проверки равенства дисперсий двух выборок
г) Проверки адекватности регрессионной модели

9. Полный факторный эксперимент (ПФЭ) позволяет оценить:
а) Только главные эффекты факторов
б) Главные эффекты и эффекты взаимодействий всех порядков
в) Только линейные эффекты факторов
г) Только эффекты парных взаимодействий

10. Главное преимущество дробного факторного эксперимента (ДФЭ) перед полным (ПФЭ):
а) Более высокая точность оценок коэффициентов
б) Меньшее количество необходимых опытов
в) Возможность оценки эффектов взаимодействий высокого порядка
г) Отсутствие ошибок измерения

11. Явление, при котором в дробных репликах эффекты факторов неразличимы, называется:
а) Репрезентативность
б) Корреляция
в) Смешанность (конфундирование)
г) Гомоскедастичность

12. Адекватность регрессионной модели проверяется с помощью:
а) t-критерия Стьюдента для коэффициентов
б) F-критерия Фишера, сравнивающего дисперсию адекватности и дисперсию воспроизводимости
в) Коэффициента детерминации R^2

г) Коэффициента корреляции Пирсона

13. Центральный композиционный план (ЦКП) применяется для:
а) Скрининга (отсева) незначимых факторов
б) Построения линейных моделей
в) Построения моделей второго порядка (нелинейных)
г) Проведения однофакторного эксперимента

14. Метод крутого восхождения применяется для:
а) Проверки гипотез о равенстве средних
б) Построения линейной регрессионной модели
в) Движения в направлении экстремума (оптимума) отклика
г) Анализа корреляционных связей

15. При проверке статистической гипотезы, ошибка первого рода – это:
а) Принятие верной нулевой гипотезы
б) Отвержение верной нулевой гипотезы
в) Принятие неверной нулевой гипотезы
г) Отвержение неверной нулевой гипотезы

16. Коэффициент вариации используется для:
а) Сравнения степени варьирования выборок с разными единицами измерения
б) Определения математического ожидания случайной величины
в) Построения гистограммы распределения
г) Проверки гипотезы о нормальном распределении

17. Ранговые коэффициенты корреляции (Спирмена, Кендалла) целесообразно применять, когда:
а) Связь между переменными линейная
б) Данные имеют нормальное распределение
в) Данные измерены в порядковой шкале или распределение отличается от нормального
г) Объем выборки очень большой

18. Двухфакторный дисперсионный анализ позволяет оценить:
а) Влияние только одного фактора на отклик
б) Влияние двух факторов и их парного взаимодействия на отклик
в) Только эффекты взаимодействия факторов
г) Нелинейные эффекты факторов

19. Матрица планирования полного факторного эксперимента обладает свойствами:
а) Ортогональности и симметричности
б) Случайности и неопределенности
в) Нелинейности и цикличности
г) Зависимости и коррелированности

20. Для проверки соответствия эмпирического распределения теоретическому (напр., нормальному) используются критерии:
а) Фишера и Стьюдента
б) Пирсона (хи-квадрат) и Колмогорова
в) Спирмена и Кендалла
г) Кохрана и Бартлетта

Критерии оценивания теста:
10 баллов – 96% и более правильных ответов
9 баллов – 91-95% правильных ответов
8 баллов – 86 – 90% правильных ответов
7 баллов – 81-85% правильных ответов
6 баллов – 76-80% правильных ответов
5 баллов – 71-75% правильных ответов
4 балла – 66-70% правильных ответов
3 балла – 61-65% правильных ответов
2 балла – 56-60% правильных ответов
1 балл – 51-55% правильных ответов
0 баллов – менее 51% правильных ответов

Зачтено – 4 балла и более
Не зачтено – менее 4 баллов

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 лабораторные занятия по дисциплине «Методы вычислительного эксперимента», 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	10 вопросов	50	100
2.	Выполнение и защита лабораторной работы	8 лабораторныхработ	48	80
4.	Пройденный тест	1 тест	4	10

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. Численные методы: учебник и практикум для вузов / под редакцией У. Г. Пирумова. – М.: Издательство Юрайт, 2023. – 421 с. – URL: https://urait.ru/bcode/510769.

2. Косинов А.Д. Методы физического эксперимента: учебник для вузов / А.Д. Косинов, А. Г. Костюрина, О.А. Брагин. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 86 с. – URL: https://urait.ru/bcode/564810.

3. Рачков М.Ю. Физические основы измерений: учебник для вузов – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 138 с. – URL: https://urait.ru/bcode/559329.

4. 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.

5. Берикашвили В.Ш. Статистическая обработка данных, планирование эксперимента и случайные процессы: учебник для вузов / В.Ш. Берикашвили, С.П. Оськин. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 164 с. – URL:https://urait.ru/bcode/563721.

6. Основы теории эксперимента: учебник для вузов / О.А. Горленко, Н.М. Борбаць, Т.П. Можаева, А.С. Проскурин. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 177 с. – URL: https://urait.ru/bcode/556177.

7.2. Дополнительная литература

1. Теория статистики: учебник / под ред. проф. Р. А. Шмойловой. – 3-е изд., перераб. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 560 с. ISBN 5-279-01951-8.

2. Практикум по теории статистики: Учеб. пособие / под ред. проф. Р. А. Шмойловой. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 416 с. ISBN 5-279-01941-0.

3. Грачев, Ю. П. Математические методы планирования экспериментов. /Ю. П. Грачев – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 200с.

4.СМонтгомери, Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных. /Д. К. Монтгомери – Л.: Судостроение, 1980. – 384 с.

5. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальныхусловий. / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 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 (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.

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.