

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Цифровая обработка сигналов

по направлению подготовки / специальности

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Направленность (профиль) подготовки / специализация:

Радиоэлектронные системы передачи информации

Форма обучения

Очная

Квалификация

Инженер

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

В.А. Мещеряков

Председатель УМК

А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-9 Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения.

ПК-3 Способен формулировать математические модели процессов и явлений, происходящих в радиоэлектронных системах и на их основе проводить компьютерное моделирование и оптимизацию.

ПК-4 Способен выполнять исследования с целью совершенствования и роста технических характеристик радиоэлектронной аппаратуры с использованием стандартных пакетов прикладных программ.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 9.1 Применяет современные инструментальные системы программирования и компьютерного моделирования при решении прикладных задач.

ИОПК 9.2 Владеет навыками работы в компьютерной среде.

ИПК 3.1 Использует фундаментальные знания о физической природе и физических явлениях происходящих элементах и объектах радиоэлектронных систем и комплексах

ИПК 3.2 Разрабатывает математические модели исследуемых физических процессов, приборов, схем и электронных систем

ИПК 4.1 Применяет прикладные методы моделирования процессов в радиоэлектронных системах передачи информации

ИПК 4.2 Владеет приемами компьютерного моделирования радиоэлектронных систем и комплексов передачи информации с целью предсказания и улучшения их параметров

ИПК 4.3 Применяет стандартные прикладные программные средства при проведении модельных экспериментов

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить технические средства цифровой обработки сигналов.

– Научиться применять понятийный аппарат предмета для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Восьмой семестр, зачет

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам:

Б1.П.В.ДВ.05.01 Устройства приема и обработки сигналов, Б1.П.В.ДВ.05.02 Основы построения систем связи специального назначения и криптографической защиты информации, Б1.О.В.ДВ.02.01 Основы теории радиосистем передачи информации, Б1.О.О.03 Устройства генерирования и формирования сигналов.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:
-лекции: 30 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

2. Компетенции и результаты обучения, формируемые в результате освоения дисциплины/модуля

Таблица 1

Компетенция	Индикатор компетенции	Код и наименование результатов обучения (планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций)
ОПК-9. Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения.	ИОПК -9.1. Применяет современные инструментальные системы программирования и компьютерного моделирования при решении прикладных задач.	ОР 9.1.1. Обучающийся сможет применять современные инструментальные системы программирования и компьютерного моделирования при решении прикладных задач.
ПК-3. Способен формулировать математические модели процес-сов и явлений, происходящих в радиоэлектронных системах и на их основе проводить компьютерное моделирование и оптимизацию.	ИПК -3.1 Использует фундаментальные знания о физической природе и физических явлениях происходящих элементах и объектах радиоэлектронных систем и комплексах. ИПК -3.2 Разрабатывает математические модели исследуемых физических процессов, приборов, схем и электронных систем.	ОР-3.1.1. Обучающийся сможет использовать фундаментальные знания о физической природе и физических явлениях происходящих элементах и объектах радиоэлектронных систем и комплексах. ОР-3.2.1. Обучающийся сможет разрабатывать математические модели исследуемых физических процессов, приборов, схем и электронных систем.
ПК-4 . Способен выполнять исследования с целью совершенствования и роста технических характеристик радиоэлектронной аппаратуры с использованием стандартных пакетов прикладных программ.	ИПК -4.1 Применяет прикладные методы моделирования процессов в радиоэлектронных системах передачи информации. ИПК -4.2 Владеет приемами компьютерного моделирования радиоэлектронных систем и комплексов передачи информации с целью предсказания и улучшения их параметров. ИПК -4.3 Применяет стандартные прикладные программные средства при проведении модельных экспериментов.	ИПК -4.1 Обучающийся сможет применять прикладные методы моделирования процессов в радиоэлектронных системах передачи информации. ИПК -4.2 Обучающийся будет владеть приемами компьютерного моделирования радиоэлектронных систем и комплексов передачи информации с целью предсказания и улучшения их параметров. ИПК -4.3 Обучающийся сможет применять стандартные прикладные программные средства при проведении модельных экспериментов.

3. Структура и содержание дисциплины/модуля

3.1. Структура и трудоемкость видов учебной работы по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часа.

Таблица 2

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах	
Общая трудоемкость	8 семестр	всего
Контактная работа:	31,75 ч	31,75 ч

Лекции (Л):	28	28
Практические занятия (ПЗ)	X	X
Лабораторные работы (ЛР)	X	X
Семинарские занятия (СЗ)	X	X
Групповые консультации	3.5	3.5
Индивидуальные консультации	X	X
Промежуточная аттестация	0.25	0.25
Самостоятельная работа обучающегося:	76,25	76,25
- изучение учебного материала	20	20
- подготовка к лабораторным работам	X	X
- выполнение контрольных заданий	56.25	56.25
Вид промежуточной аттестации	зачет	зачет

3.2. Содержание и трудоемкость разделов дисциплины

Таблица 3

Код занятия	Наименование разделов и тем и их содержание	Вид учебной работы, занятий, контроля	Семестр	Часы в электронной форме	Всего (час.)	Литература	Код (ы) результата(ов) обучения
	Раздел 1. Основные понятия и определения теории передачи цифровых сигналов						
1.1.	Историческая перспектива. Преобразование Фурье с непрерывным временем и дискретное преобразование Фурье. Соотношение между ними. Периодические повторения спектров. Свертка дискретных сигналов. Методы сверхразрешения. Мера количества информации. Энтропия источника дискретных сообщений. Статистические свойства источников сообщений. Скорость передачи информации и пропускная способность канала. Помехоустойчивое кодирование.	Лекции	8		2	№1, №2, №3, №6, №7,	ОР-9.1.1, ОР-3.1.1, ОР-3.2.1
1.3.	Изучение учебного материала	СРС	8	2	2	№1, №2, №3, №6, №7,	ОР-9.1.1, ОР-3.1.1, ОР-3.2.1
	Раздел 2. Метод периодограмм в пространственном и временном спектральном анализе						
2.1.	Быстрое преобразование Фурье (БПФ). Перестановка данных и двоичная инверсия. Прореживание по частоте и прореживание по времени. Разрешение. Теорема Котельникова (отсчетов). Метод периодограмм и метод коррелограмм. Многомерный спектральный анализ сигналов и полей. Графическое представление спектров. Проблемы оценивая частоты, амплитуды сигналов. Спектральный анализ пространственных сигналов и полей. Пространственные частоты. Спектр пространственных частот и угловой спектр. Мнимые углы. Использование окон в спектральном анализе. Дискретная фильтрация. Спектральный анализ последовательности импульсов.	Лекции	8		8	№1, №2, №3	ОР-9.1.1, ОР-3.1.1, ОР-3.2.1, ОР-4.1.1
2.3.	Изучение учебного материала	СРС	8	2	4	№1, №2, №3	ОР-9.1.1, ОР-3.1.1, ОР-3.2.1, ОР-4.1.1
	Раздел 3. Элементы теории приема и обработки цифровых сигналов						

3.1.	Энергетический спектр и спектральный анализ случайных сигналов и полей. Характеристики согласованных и оптимальных фильтров. Методы регуляризации в задаче оценки спектров	Лекции	8		4	№1, №2, №3, №6, №7,	ОП-9.1.1, ОП-3.1.1, ОП-3.2.1
3.3.	Изучение учебного материала	СРС	8		2	№1, №2, №3, №6, №7,	ОП-9.1.1, ОП-3.1.1, ОП-3.2.1
	Раздел 4. Основы вейвлет преобразования сигналов						
4.1.	Свойства вейвлет функций. Непрерывное вейвлет-преобразование. Обратное преобразование. Дискретное вейвлет-преобразование. Практическое использование	Лекции	8		4	№ 9	ОП-4.2.1, ОП-4.2.2, ОП-4.2.3
4.3.	Изучение учебного материала	СРС	11	2	2	№ 9	ОП-4.2.1, ОП-4.2.2, ОП-4.2.3
	Раздел 5. Модуляция и демодуляция сигналов						
5.1.	Классификация сигналов и методов модуляции. Методы амплитудной, фазовой и частотной модуляции и демодуляции. Принципы амплитудной и частотной манипуляции. Принципы импульсной и цифровой модуляции.	Лекции	11		12	№7	ОП-3.2.2, ОП-4.2.1, ОП-4.2.2, ОП-4.2.3
5.3.	Изучение учебного материала	СРС	8	2	8	№7	ОП-3.2.2, ОП-4.2.1, ОП-4.2.2, ОП-4.2.3
	Выполнение контрольных заданий	СРС	8		56.25	№1-9,	ОП-9.1.1, ОП-3.2.2, ОП-4.2.1, ОП-4.2.2, ОП-4.2.3
	Групповые консультации				3.5		
	Промежуточная аттестация				0.25		

4. Образовательные технологии, учебно-методическое и информационное обеспечение для освоения дисциплины/модуля

В образовательном процессе используется технология развивающего обучения с привлечением исследовательских методов, которая дает возможность учащимся самостоятельно пополнять свои знания, глубоко вникать в изучаемую проблему и предполагать пути ее решения. Используется технология проблемного обучения с созданием в учебной деятельности проблемных ситуаций и организации активной самостоятельной деятельности учащихся по их разрешению, в результате чего происходит творческое овладение знаниями, умениями, навыками, развиваются мыслительные способности. В процессе обучения используется тестирование студентов по темам с использованием ресурсов MOODLE. Общая логика хода освоения дисциплины заключается в: ознакомлении со структурой курса, используя рабочую программу и электронный учебный курс (ЭУК); ознакомлении с методическими рекомендациями по использованию электронного учебного курса; использовании записи лекции и материалов ЭУК накануне следующей лекции вспомнить материал предыдущей; использовании презентации соответствующего раздела ЭУК накануне следующей лекции ознакомиться с ее примерным содержанием; изучении теоретического материала по учебнику и конспекту; регулярной подготовке к практическим и лабораторным занятиям путем решения домашнего задания.

Самостоятельная работа включает в себя: изучение рекомендуемой учебной литературы; рассмотрение примеров решений типовых задач и вариантов ответов; решения задач из сборника задач; рассмотрение информационных ресурсов по изучаемой теме в сети Интернет.

Процедура промежуточной аттестации по дисциплине заключается в: проведении устного зачёта по лекционному материалу с разбором разработанной программы на заданную тему. Для аттестации используются результаты контрольных работ.

Контрольные вопросы к зачету по дисциплине:

Какие основные задачи решает цифровой спектральный анализ.
Идеи быстрого преобразования Фурье. Понятие углового спектра.
Особенности двумерного спектрального анализа сигналов и полей.
Особенности АМ и FM модуляции. Прямое и обратное вейвлет преобразование. Метод периодограмм при пространственном спектральном анализе. Использование амплитудного взвешивания данных в цифровом спектральном анализе. Согласованная и оптимальная фильтрация при обнаружении сигнала. Вейвлет-преобразования сигналов.

4.1. Литература и учебно-методическое обеспечение

Основная литература

1. Якубов В.П. Статистическая радиофизика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 132 С.
2. Алан В. Оппенгейм, Рональд В. Шафер. Цифровая обработка сигналов. – Техносфера, 2012. – 1048 с.
3. В. Волосюк, О. Горячкин. Цифровая обработка сигналов и изображений. – ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 552 с.
4. Кирьянов Д. В. K43 Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 432 с.

Дополнительная литература

5. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. — 2-е. — СПб.: Питер, 2007. — С. 751.
6. Тропченко А. Ю., Тропченко А. А. Цифровая обработка сигналов. Методы предварительной обработки. Учебное пособие по дисциплине "Теоретическая информатика". — СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. — 100 с.
7. Макс Ж. Методы модуляции и кодирования в современных системах связи — Наука. Ленинградское отделение, 2017. — 402 с.
8. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. — СПб.: Питер, 2002. — 608 с.
9. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в matlab. 5-е издание — 2019. — 560 стр.

4.2. Базы данных и информационно-справочные системы, в том числе зарубежные

1. Шипилов С. Э., Клоков А. В. Цифровой спектральный анализ сигналов и полей [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс на базе виртуальной обучающей среды MOODLE Электрон. дан. — Томск: ТГУ, 2014. — URL: <http://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=13846>

4.3. Перечень лицензионного и программного обеспечения

Электронные учебные курсы на базе виртуальной обучающей среды MOODLE; системные пакеты Matlab, MatCad; пакет MS Office.

4.4. Оборудование и технические средства обучения

Освоение дисциплины обеспечено наличием демонстрационной аппаратуры, компьютерных классов общей числом рабочих мест — 40 для выполнения лабораторных занятий и индивидуальной работы, с выходом в Интернет на сайт <http://info.rff.tsu.ru>.

5. Методические указания обучающимся по освоению дисциплины

Методические указания включают контрольные вопросы для самостоятельной работы, темы лабораторных занятий и примеры практических задач.

Контрольные вопросы для самостоятельной работы:

Назовите основные способы спектрального анализа. Какие положения лежат в основе методов сверхразрешения. Укажите недостатки преобразования Фурье с непрерывным временем. Поясните назначение окна в спектральном анализе и дискретной фильтрации. Что такое пространственная частота. Как выглядит передаточная характеристика согласованного фильтра? Оптимальный фильтр.

Согласованный фильтр. Теорема Котельникова. Метод периодограмм при временном спектральном анализе.

Примеры контрольных заданий

1. Метод периодограмм при временном спектральном анализе сигналов
 - Изменяя шаг дискретизации Δt при постоянных длительности радиоимпульса t и времени регистрации T , проследить как шаг дискретизации Δt влияет на ширину спектра и на сохранение формы спектра.
 - Смоделировать регистрацию радиоимпульса разной длительности t и с разным временем появления импульса t_0 при постоянных Δt и T . Определить, что меняется в спектре и почему.
 - Смоделировать регистрацию радиоимпульса в течении разного времени регистрации T при постоянных Δt и t . Установить зависимость ширины

максимума спектра (ширины боковых лепестков) от времени регистрации T .

Смоделировать регистрацию периодической последовательности одиночных прямоугольных радиоимпульсов. Число и скважность импульсов получить у преподавателя. Чем спектр последовательности импульсов отличается от спектра одиночного импульса ?

- Смоделировать регистрацию одиночного прямоугольного видеоимпульса (на нулевой частоте) длительностью t с различным отношением сигнал/шум. Проследить как этот параметр влияет на амплитудный и фазовый спектр сигнала. При каких значениях отношения сигнал/шум еще можно оценить положение и ширину главного максимума спектра.
 - На примере монохроматического сигнала при $t=T$, $t_0=0$ смоделировать "эффект маскирования" (подмены высокой частоты более низкой). Представить графики и объяснить полученные результаты.
2. Метод периодограмм при пространственном спектральном анализе сигналов

- Смоделировать регистрацию монохроматического сигнала частотой 50 МГц на линейной антенной решетке из $N = 32$ элементов с расстоянием между элементами $d = 1$ м и построить графики спектра пространственных частот и углового спектра для разных углов прихода сигнала (значения амплитуд и углов прихода получить у преподавателя). Чем отличаются угловой спектр и спектр пространственных частот ?
- Смоделировать регистрацию, рассчитать спектр пространственных частот и угловой спектр для разных частот приходящего сигнала. Установить зависимость ширины спектра и формы спектра от частоты и расстояния между элементами решетки d . Сопоставить результаты с теоремой Котельникова. Частоту менять в пределах 10 - 100 МГц, расстояние d в пределах 0,1 - 10 м. Сопоставление проводить для двух углов прихода сигнала: один равен 0° , другой равен 10° .
- Каким образом операция прореживания спектра помогает разделить сигналы, пришедшие с близких угловых направлений? В доказательство приведите несколько графиков.
- На какие спектральные характеристики влияет длина антенной решетки ? Смоделировать регистрацию сигнала с постоянными f_0 и d на линейной антенной решетке при $N = 8, 16, 32, 64$, рассчитать спектр пространственных частот и угловой спектр.
- Проанализировать влияние шума на спектр пространственных частот и угловой спектр. При каком отношении сигнал / шум восстановление параметров сигналов становится невозможным ?

6. Преподавательский состав, реализующий дисциплину

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Кузьменко И.Ю.; доктор физ.-мат. наук, профессор Шипилов С.Э.; кандидат физ.-мат. наук, доцент Клоков А.В.

7. Язык преподавания – русский