

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Наименование образовательной программы: Радионавигационные системы и комплексы

Уровень образования: высшее образование - специалитет

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Обязательная</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.О.30</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>7 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>7 семестр - 16 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>7 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>7 семестр - 16 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>7 семестр - 59,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Коллоквиум</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>7 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Архипова С.В.
	Идентификатор	Rd5bd572c-LakovshchikSV-2ca8e9f

С.В. Архипова

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сизякова А.Ю.
	Идентификатор	R4eb30863-SiziakovaAY-83831ea7

А.Ю. Сизякова

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Куликов Р.С.
	Идентификатор	R7ef0b374-KulikovRS-e851162c

Р.С. Куликов

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** обеспечение базовой подготовки студентов в области проектирования и применения схем цифровой обработки сигналов.

### Задачи дисциплины

- изучение методов анализа дискретных сигналов,;
- изучение законов преобразования сигналов в дискретных и цифровых системах;
- формирование навыков проведения расчетов, связанных с анализом дискретных сигналов и параметрами цифровых систем,;
- приобретение навыков компьютерного моделирования базовых алгоритмов дискретной и цифровой обработки сигналов..

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-1 Способен представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	ИД-3 <sub>ОПК-1</sub> Применяет общеинженерные знания в инженерной деятельности для анализа и проектирования радиоэлектронных устройств и систем	уметь: - – проводить расчеты, связанные с анализом дискретных сигналов.
ОПК-3 Способен к логическому мышлению, обобщению, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения, освоению работы на современном измерительном, диагностическом и технологическом оборудовании, используемом для решения различных научно-технических задач в области радиоэлектронной техники и информационно-коммуникационных технологий	ИД-1 <sub>ОПК-3</sub> Знает методы решения задач анализа и расчета характеристик радиоэлектронных систем и устройств с применением современных средств измерения и проектирования	знать: - – общие принципы анализа и обработки дискретных сигналов в цифровых системах.
ОПК-8 Способен использовать современные	ИД-1 <sub>ОПК-8</sub> Использует современные программные средства моделирования для	знать: - - принципы и методы проектирования цифровых систем.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
программные и инструментальные средства компьютерного моделирования для решения различных исследовательских и профессиональных задач	решения различных задач профессиональной деятельности	уметь: - - проводить расчеты цифровых систем..
РПК-1 Способен участвовать в постановке и решении задач цифровизации в своей профессиональной области	ИД-1РПК-1 Знает элементы и системы цифровой электроники в области своей профессиональной деятельности	знать: - – возможности по обработке результатов компьютерного математического моделирования сигналов по типовым методикам и базовым алгоритмам цифровой обработки сигналов, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ..
РПК-1 Способен участвовать в постановке и решении задач цифровизации в своей профессиональной области	ИД-2РПК-1 Владеет навыками постановки и решения задач цифровизации в области своей профессиональной деятельности	уметь: - – проводить оценку и обработку результатов компьютерного моделирования дискретных сигналов..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радионавигационные системы и комплексы (далее – ОПОП), направления подготовки 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, уровень образования: высшее образование - специалитет.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Основы теории цепей, основы компьютерного проектирования РЭС, основы построения цифровых устройств и программируемых логических интегральных схем.
- уметь проводить расчеты и анализ работы РЭС

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Дискретные сигналы и их спектры. Периодические и однородные последовательности.	12	7	2	2	2	-	-	-	-	-	6	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Подготовка к контрольной работе № 1 «Дискретные сигналы и их спектры» <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 16-22 [4], 15-26</p>	
1.1	Дискретные сигналы и их спектры. Периодические и однородные последовательности.	12		2	2	2	-	-	-	-	-	6	-		
2	Дискретное преобразование Фурье.	12		2	2	2	-	-	-	-	-	6	-		<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Подготовка к защите лабораторной работы № 1 «Спектры дискретных последовательностей»</p>
2.1	Дискретное преобразование Фурье.	12		2	2	2	-	-	-	-	-	6	-		
3	Цифровые фильтры, их классификация и структурные схемы.	20		4	4	4	-	-	-	-	-	8	-		<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Подготовка к защите лабораторной работы № 2 «Моделирование цифровых БИХ фильтров»</p>
3.1	Цифровые фильтры, их классификация и структурные схемы.	20		4	4	4	-	-	-	-	-	8	-		
4	Проектирование цифровых фильтров. Метод обобщенного билинейного преобразования.	20		4	4	4	-	-	-	-	-	8	-		
4.1	Проектирование	20		4	4	4	-	-	-	-	-	8	-		

	цифровых фильтров. Метод обобщенного билинейного преобразования.											<b><u>источников:</u></b> [3], 7-16 [5], 118-120	
5	Однородные КИХ-фильтры. Метод разложения АЧХ в ряды Фурье	14	2	2	2	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Подготовка к защите лабораторной работы № 4 «Исследование параметров цифровых КИХ-фильтров без операции умножения»
5.1	Однородные КИХ-фильтры. Метод разложения АЧХ в ряды Фурье	14	2	2	2	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 162-164
6	Проектирование цифровых КИХ-фильтров методом «взвешивания»	12	2	2	2	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Подготовка к контрольной работе № 4 «Моделирование цифровых КИХ фильтров»
6.1	Проектирование цифровых КИХ-фильтров методом «взвешивания»	12	2	2	2	-	-	-	-	-	6	-	
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>42</b>	<b>17.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>59.7</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Дискретные сигналы и их спектры. Периодические и однородные последовательности.

1.1. Дискретные сигналы и их спектры. Периодические и однородные последовательности.

Обобщенная структурная схема устройства цифровой обработки сигналов. Особенности дискретизации и квантования сигнала. Дискретные последовательности, в том числе периодические. Z-преобразование и его свойства..

#### 2. Дискретное преобразование Фурье.

2.1. Дискретное преобразование Фурье.

Спектр дискретной последовательности. Дискретное преобразование Фурье. Дискретный спектр последовательности, в том числе периодической..

#### 3. Цифровые фильтры, их классификация и структурные схемы.

3.1. Цифровые фильтры, их классификация и структурные схемы.

Передаточная функция, прямая и каноническая структурные схемы, разностные уравнения, импульсная и переходная характеристики дискретного фильтра. Фильтры с конечной (КИХ) и бесконечной (БИХ) импульсными характеристиками. Рекурсивные и нерекурсивные фильтры. АЧХ и ФЧХ дискретного фильтра. Нуль-полосные диаграммы дискретных фильтров..

#### 4. Проектирование цифровых фильтров. Метод обобщенного билинейного преобразования.

4.1. Проектирование цифровых фильтров. Метод обобщенного билинейного преобразования.

Проектирование БИХ-фильтров по заданному аналогу-прототипу методом обобщенного билинейного преобразования..

#### 5. Однородные КИХ-фильтры. Метод разложения АЧХ в ряды Фурье

5.1. Однородные КИХ-фильтры. Метод разложения АЧХ в ряды Фурье

Передаточная функция и структурная схема однородного КИХ-фильтра. АЧХ и ФЧХ однородного КИХ-фильтра. Проектирование однородного КИХ-фильтра методом разложения АЧХ в ряды Фурье..

#### 6. Проектирование цифровых КИХ-фильтров методом «взвешивания»

6.1. Проектирование цифровых КИХ-фильтров методом «взвешивания»

Проектирование КИХ - фильтров с линейной ФЧХ методом «взвешивания». Автоматизация проектирования цифровых фильтров с использованием специализированных программных продуктов..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. № 1. Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы. Дискретизация и квантование. (2 часа);
2. № 6. Проектирование БИХ фильтров методом обобщенного билинейного преобразования. (2 часа);

3. № 8. КИХ - фильтры без операции умножения. (2 часа);
4. № 7. Проектирование КИХ фильтров методом «взвешивания». (2 часа);
5. № 2. Дискретные последовательности. Z-преобразование и спектры дискретных последовательностей. (2 часа);
6. № 5. Определение АЧХ и ФЧХ цифровых фильтров. (2 часа);
7. № 4. Структурные схемы и разностные уравнения цифровых фильтров. (2 часа);
8. № 3. Передаточные функции, нуль-полосные диаграммы, импульсные и переходные характеристики цифровых фильтров. (2 часа).

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. № 4. Исследование параметров цифровых КИХ-фильтров без операции умножения. (4 часа);
2. № 3. Моделирование цифровых КИХ-фильтров. (4 часа);
3. № 2. Моделирование цифровых БИХ фильтров. (4 часа);
4. № 1. Спектры дискретных последовательностей. (4 часа).

### 3.5 Консультации

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Проектирование цифровых фильтров. Метод обобщенного билинейного преобразования."

#### *Текущий контроль (ТК)*

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Дискретные сигналы и их спектры. Периодические и однородные последовательности."
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Дискретное преобразование Фурье."
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Цифровые фильтры, их классификация и структурные схемы."
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Однородные КИХ-фильтры. Метод разложения АЧХ в ряды Фурье"
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Проектирование цифровых КИХ-фильтров методом «взвешивания»"

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)						Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	6	
<b>Знать:</b>								
– общие принципы анализа и обработки дискретных сигналов в цифровых системах	ИД-1 <sub>ОПК-3</sub>			+				Коллоквиум/Защита лабораторной работы №2
- принципы и методы проектирования цифровых систем	ИД-1 <sub>ОПК-8</sub>					+	+	Коллоквиум/Защита лабораторной работы №3
– возможности по обработке результатов компьютерного математического моделирования сигналов по типовым методикам и базовым алгоритмам цифровой обработки сигналов, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ.	ИД-1 <sub>РПК-1</sub>				+			Коллоквиум/Защита лабораторной работы №1
<b>Уметь:</b>								
– проводить расчеты, связанные с анализом дискретных сигналов	ИД-3 <sub>ОПК-1</sub>	+	+					Контрольная работа/Контрольная работа №1 "Дискретные сигналы и их спектры"
- проводить расчеты цифровых систем.	ИД-1 <sub>ОПК-8</sub>				+		+	Контрольная работа/Контрольная работа №2 "Способы описания дискретных систем" Контрольная работа/Контрольная работа №3 "Моделирование цифровых КИХ фильтров"
– проводить оценку и обработку результатов компьютерного моделирования дискретных сигналов.	ИД-2 <sub>РПК-1</sub>				+			Контрольная работа/Контрольная работа №3 "Моделирование цифровых КИХ фильтров"

#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

7 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1 "Дискретные сигналы и их спектры" (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №2 "Способы описания дискретных систем" (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №3 "Моделирование цифровых КИХ фильтров" (Контрольная работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Защита лабораторной работы №1 (Коллоквиум)
2. Защита лабораторной работы №2 (Коллоквиум)
3. Защита лабораторной работы №3 (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Зачет с оценкой (Семестр №7)

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Гребенко, Ю. А. Методы цифровой обработки сигналов в радиоприемных устройствах : учебное пособие по курсам "Методы и устройства цифровой обработки сигналов" и "Радиоприемные устройства" по направлению "Радиотехника" / Ю. А. Гребенко, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2006 . – 48 с. - ISBN 5-903072-46-1 .;
2. Гребенко, Ю. А. Однородные устройства обработки сигналов / Ю. А. Гребенко . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 184 с. - ISBN 978-5-383-00330-5 .  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=285>;
3. Гребенко, Ю. А. Цифровая обработка сигналов / Ю. А. Гребенко . – 2013 .;
4. А. Оппенгейм, Р. Шафер- "Цифровая обработка сигналов", (3-е изд., испр.), Издательство: "Техносфера", Москва, 2012 - (1048 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233730>;
5. Д. В. Сперанский, Ю. А. Скобцов, В. Ю. Скобцов- "Моделирование, тестирование и диагностика цифровых устройств", (2-е изд., испр.), Издательство: "Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ»", Москва, 2016 - (535 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429075>.

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. Micro-Cap.

## 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-400, Учебная аудитория "А"	парта, стул, доска меловая, экран интерактивный, колонки звуковые, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Б-318, Учебная аудитория	парта со скамьей, стул, стол письменный, доска меловая, доска маркерная, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-704/11, Учебная лаборатория РПУ каф. "Форс"	стол преподавателя, стол, стул, шкаф, вешалка для одежды, доска меловая, лабораторный стенд, оборудование специализированное, телевизор, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-704/11, Учебная лаборатория РПУ каф. "Форс"	стол преподавателя, стол, стул, шкаф, вешалка для одежды, доска меловая, лабораторный стенд, оборудование специализированное, телевизор, учебно-наглядное пособие
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Е-703/1, Кабинет сотрудников	стеллаж, стол, стул, шкаф, компьютер персональный, принтер, книги, учебники, пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-704/14, Помещение каф. "ФОРС"	оборудование для экспериментов, запасные комплектующие для оборудования

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Цифровая обработка сигналов

(название дисциплины)

#### 7 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Контрольная работа №1 "Дискретные сигналы и их спектры" (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа №3 "Моделирование цифровых КИХ фильтров" (Контрольная работа)
- КМ-2 Защита лабораторной работы №1 (Коллоквиум)
- КМ-3 Контрольная работа №2 "Способы описания дискретных систем" (Контрольная работа)
- КМ-4 Защита лабораторной работы №2 (Коллоквиум)
- КМ-6 Защита лабораторной работы №3 (Коллоквиум)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-6
		Неделя КМ:	2	13	6	8	10	15
1	Дискретные сигналы и их спектры. Периодические и однородные последовательности.							
1.1	Дискретные сигналы и их спектры. Периодические и однородные последовательности.		+					
2	Дискретное преобразование Фурье.							
2.1	Дискретное преобразование Фурье.		+					
3	Цифровые фильтры, их классификация и структурные схемы.							
3.1	Цифровые фильтры, их классификация и структурные схемы.						+	
4	Проектирование цифровых фильтров. Метод обобщенного билинейного преобразования.							
4.1	Проектирование цифровых фильтров. Метод обобщенного билинейного преобразования.			+	+	+		
5	Однородные КИХ-фильтры. Метод разложения АЧХ в ряды Фурье							
5.1	Однородные КИХ-фильтры. Метод разложения АЧХ в ряды Фурье							+
6	Проектирование цифровых КИХ-фильтров методом «взвешивания»							
6.1	Проектирование цифровых КИХ-фильтров методом «взвешивания»			+		+		+

Bec KM, %:	10	20	10	20	20	20
------------	----	----	----	----	----	----