

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Интеллектуальные системы защиты, автоматики и управления энергосистемами

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ, СИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ**  
**ВЕКТОРНЫЕ И ГИПЕРВЕКТОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10.04.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	3 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	3 семестр - 16 часов;
Консультации	3 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	3 семестр - 113,5 часов;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Расчетно-графическая работа Домашнее задание	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Волошин А.А.
	Идентификатор	Ra915003b-VoloshinAA-408ebd73

(подпись)

А.А. Волошин

(расшифровка  
подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Волошин А.А.
	Идентификатор	Ra915003b-VoloshinAA-408ebd73

(подпись)

А.А. Волошин

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Волошин А.А.
	Идентификатор	Ra915003b-VoloshinAA-408ebd73

(подпись)

А.А. Волошин

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение принципов действия и построения (технической реализации) автоматических устройств управления, обеспечивающее магистру возможность осуществлять профессиональную деятельность

### Задачи дисциплины

- изучение теоретических основ цифровой обработки сигналов;
- изучение устойчивых методов обработки результатов измерений;
- приобретение навыков различных видов обработки сигналов;
- изучение принципов объектно-ориентированного программирования.

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
ПК-2 Способен осуществить информационный обмен между устройствами релейной защиты и автоматики	ИД-3ПК-2 Знаком с информационной структурой энергообъекта	знать: - Основные методы работы с сигналами.  уметь: - Выявлять характерные параметры исходного сигнала; - Производить оценку режима по характерным параметрам.
ПК-3 Способен вести разработку автоматических систем в электроэнергетике	ИД-1ПК-3 Применяет математический аппарат для разработки автоматических систем	знать: - Виды сигналов и их особенности; - Способы обработки сигналов.  уметь: - Применять методы представления информации исходного сигнала.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Интеллектуальные системы защиты, автоматики и управления энергосистемами (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основы теории функций комплексных переменных
- знать основы теории цепей
- знать численные методы решения уравнений
- уметь ставить задачи получения и обработки информации
- уметь составлять и решать дифференциальные уравнения
- уметь анализировать результаты

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 5 зачетных единиц, 180 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	Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы	22	3	5	2	2	-	-	-	-	-	13	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 13-48 [3], 3-41
1.1	Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы	22		5	2	2	-	-	-	-	-	13	-	
2	Преобразования дискретных сигналов. Цифровые фильтры. Анализ и синтез	46		10	5	5	-	-	-	-	-	26	-	<b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Преобразования дискретных сигналов. Цифровые фильтры. Анализ и синтез" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 63-78 [3], 56-89
2.1	Преобразования дискретных сигналов	22		5	2	2	-	-	-	-	-	13	-	
2.2	Цифровые фильтры. Анализ и синтез	24		5	3	3	-	-	-	-	-	13	-	
3	Спектральный анализ линейных систем	24	5	3	3	-	-	-	-	-	13	-	<b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Изучение материала по разделу "Спектральный анализ линейных систем"	
3.1	Спектральный анализ	24	5	3	3	-	-	-	-	-	13	-		

	линейных систем												подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 36-125 [3], 256-305
4	Основы теории вейвлетов	26	6	3	3	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Основы теории вейвлетов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 456-489 [4], 25-41
4.1	Основы теории вейвлетов	26	6	3	3	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Синхронизированные векторные измерения" материалу. <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 781-812 [5], 46-72
5	Синхронизированные векторные измерения	26	6	3	3	-	-	-	-	-	14	-	
5.1	Синхронизированные векторные измерения	26	6	3	3	-	-	-	-	-	14	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0	32	16	16	-	2	-	-	0.5	80	33.5	
	Итого за семестр	180.0	32	16	16	2	-	-	-	0.5	113.5		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы

##### 1.1. Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы

Дискретные сигналы и системы. Дискретизация аналоговых сигналов. Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование сигналов. Основные характеристики. Примеры реализации в МатЛабе.

#### 2. Преобразования дискретных сигналов. Цифровые фильтры. Анализ и синтез

##### 2.1. Преобразования дискретных сигналов

Z-преобразование. Виды преобразований Фурье, их описание. Разложение в ряд Фурье. Комплексный ряд Фурье. Практическое применение разложения в ряд Фурье. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Быстрое преобразование Фурье (БПФ). Ортогональные преобразования. Оконные преобразования: Фурье и другие. Преобразование Гильберта-Хуанга. Примеры реализации в МатЛабе.

##### 2.2. Цифровые фильтры. Анализ и синтез

Свойства и реализация цифровых фильтров. Виды фильтров: рекурсивные и нерекурсивные, с бесконечной и конечной импульсной характеристикой. Преобразование фильтров. Анализ и синтез. Примеры реализации в МатЛабе.

#### 3. Спектральный анализ линейных систем

##### 3.1. Спектральный анализ линейных систем

Статистические подходы к анализу сигналов. Непараметрические спектральные методы анализа. Параметрические спектральные методы анализа. Стохастические модели и процессы. Авторегрессионные модели процессов. Примеры авторегрессионных спектральных оценок параметров сигналов. Сингулярный спектральный анализ. Эмпирическая декомпозиция сигналов. Примеры реализации в МатЛабе.

#### 4. Основы теории вейвлетов

##### 4.1. Основы теории вейвлетов

Вейвлеты и преобразование Фурье. Виды вейвлетов, их свойства, применение. Прямое и обратное дискретное вейвлет-преобразование (ДВП). Ортогональные пары вейвлетов. Декомпозиция и восстановление дискретных сигналов. Применение вейвлетов для дещумизации и сжатия дискретных сигналов. Примеры реализации в МатЛабе.

#### 5. Синхронизированные векторные измерения

##### 5.1. Синхронизированные векторные измерения

Основные понятия и требования. Оценка параметров синхронизированного вектора при номинальной частоте входного сигнала. Оценка параметров синхронизированного вектора при ненулевой частоте входного сигнала. Применение синхронизированных векторов.

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

1. Построение синхронизированных векторов на комплексной плоскости;
2. Нахождение параметров заданного сигнала непараметрическими методами;
3. Нахождение параметров заданного сигнала параметрическими методами;
4. Синтезировать КИХ-фильтр для оценки параметров заданного сигнала;

5. 3. Сравнение оконных преобразований при фильтрации заданного сигнала;
6. 2. Разложение в ряд Фурье заданного сигнала;
7. 1. Выбор частоты дискретизации для заданного сигнала;
8. 7. Декомпозиция и восстановление заданного сигнала.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. 1. Изучение спектров заданных сигналов;
2. 2. Изучение временных и частотных характеристик КИХ-фильтров;
3. 3. Оценка параметров сигнала заданным методом;
4. 4. Построение синхронизированного вектора на комплексной плоскости.

### **3.5 Консультации**

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

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Преобразования дискретных сигналов. Цифровые фильтры. Анализ и синтез"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Спектральный анализ линейных систем"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы теории вейвлетов"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Синхронизированные векторные измерения"

### **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	
<b>Знать:</b>							
Основные методы работы с сигналами	ИД-3ПК-2	+					Контрольная работа/Дискретизация аналоговых сигналов
Способы обработки сигналов	ИД-1ПК-3			+	+		Контрольная работа/Вейвлеты
Виды сигналов и их особенности	ИД-1ПК-3					+	Домашнее задание/Оценка параметров синхронизированного вектора
<b>Уметь:</b>							
Производить оценку режима по характерным параметрам	ИД-3ПК-2		+				Расчетно-графическая работа/Оценка параметров сигнала заданным методом
Выявлять характерные параметры исходного сигнала	ИД-3ПК-2	+					Контрольная работа/Дискретизация аналоговых сигналов
Применять методы представления информации исходного сигнала	ИД-1ПК-3			+			Контрольная работа/Цифровая обработка сигналов



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

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

**3 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Оценка параметров сигнала заданным методом (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Вейвлеты (Контрольная работа)
2. Дискретизация аналоговых сигналов (Контрольная работа)
3. Оценка параметров синхронизированного вектора (Домашнее задание)
4. Цифровая обработка сигналов (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Экзамен (Семестр №3)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

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

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

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

1. Айфичер, Э. С. Цифровая обработка сигналов : практический подход : пер. с англ. / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис . – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2004 . – 992 с. - ISBN 5-84590-710-1 .;
2. Бендат, Дж. Применения корреляционного и спектрального анализа : пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол . – М. : Мир, 1983 . – 312 с.;
3. 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>;
4. В. Ф. Кравченко, Д. В. Чуриков- "Цифровая обработка сигналов атомарными функциями и вейвлетами", Издательство: "Техносфера", Москва, 2018 - (182 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=496505>;
5. Ю. А. Фоос- "Совершенствование алгоритма оценивания состояния энергосистем при совместном использовании телеизмерений и синхронизированных векторных измерений и его программная реализация", Издательство: "б.и.", Томск, 2020 - (145 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=578519>.

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

### 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 Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
12. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
14. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Г-101в-1, Лаборатория Автоматики кафедры РЗиАЭ	стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, оборудование специализированное, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Г-101в-1, Лаборатория Автоматики кафедры РЗиАЭ	стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, оборудование специализированное, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Г-101в-1, Лаборатория Автоматики кафедры РЗиАЭ	стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, оборудование специализированное, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Г-101в-1, Лаборатория Автоматики кафедры РЗиАЭ	стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, оборудование специализированное, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	Д-114, Компьютерный класс кафедры РЗиАЭ	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
	Д-105, Компьютерный класс кафедры РЗиАЭ	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный

Помещения для консультирования	Д-108, Кабинет сотрудников каф. "РЗиАЭ"	кресло рабочее, стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный, принтер
	Д-106, Кабинет сотрудников каф. "РЗиАЭ"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
	Д-103/1, Помещение каф. "РЗиАЭ"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный, принтер
	Д-210, Помещение сотрудников кафедры РЗиАЭ	кресло рабочее, стол, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер
	Д-208, Помещение кафедры РЗиАЭ	стол, стул, компьютер персональный
	Д-211, Помещение кафедры РЗиАЭ	кресло рабочее, стол, стул, шкаф для документов, компьютер персональный, принтер
	г-101в-3, Рабочее помещение сотрудников кафедры РЗиАЭ	кресло рабочее, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Д-103/2, Склад кафедры РЗиАЭ	компьютерная сеть с выходом в Интернет, оборудование специализированное

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Цифровая обработка сигналов, синхронизированные векторные и гипервекторные измерения

(название дисциплины)

#### 3 семестр

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

- КМ-1 Дискретизация аналоговых сигналов (Контрольная работа)
- КМ-2 Цифровая обработка сигналов (Контрольная работа)
- КМ-3 Оценка параметров сигнала заданным методом (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Вейвлеты (Контрольная работа)
- КМ-5 Оценка параметров синхронизированного вектора (Домашнее задание)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	3	6	9	12	15
1	Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы						
1.1	Общие теоретические положения. Дискретные сигналы и системы		+				
2	Преобразования дискретных сигналов. Цифровые фильтры. Анализ и синтез						
2.1	Преобразования дискретных сигналов				+		
2.2	Цифровые фильтры. Анализ и синтез				+		
3	Спектральный анализ линейных систем						
3.1	Спектральный анализ линейных систем			+		+	
4	Основы теории вейвлетов						
4.1	Основы теории вейвлетов					+	
5	Синхронизированные векторные измерения						
5.1	Синхронизированные векторные измерения						+
Вес КМ, %:			20	20	20	20	20