

ИНСТИТУТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

КАФЕДРА КИБЕРНЕТИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИИКС

Протокол № 4/1/2023

от 25.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ (ЦИФРОВЫЕ ФИЛЬТРЫ) / DIGITAL SIGNAL  
PROCESSING (DIGITAL FILTERS)**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 01.03.02 Прикладная математика и  
информатика

<b>Семестр</b>	<b>Трудоемкость, кред.</b>	<b>Общий объем курса, час.</b>	<b>Лекции, час.</b>	<b>Практич. занятия, час.</b>	<b>Лаборат. работы, час.</b>	<b>В форме практической подготовки/ В СРС, час.</b>	<b>КСР, час.</b>	<b>Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП</b>	
8	3	108	12	12	24		33	0	Э
Итого	3	108	12	12	24	12	33	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе рассматриваются методы обработки дискретных во времени одномерных сигналов. Для анализа сигналов применяется z-преобразование, основы которого излагаются в курсе. Значительная часть курса посвящена дискретным преобразованиям, прежде всего дискретному преобразованию Фурье, а также дискретному преобразованию Хартли. Наряду с детальным изучением его свойств и особенностей, рассмотрены методы реализации быстрых преобразований Фурье и Хартли, их взаимосвязи. Изучаются методы вычисления линейных и круговых сверток как одного из инструментов реализации цифровых фильтров. Вторая часть курса посвящена расчету цифровых фильтров. Изучается явление Гиббса, показывается необходимость применения окон, излагается синтез КИХ-фильтров методом частотной выборки. Также рассматривается синтез БИХ-фильтров, медианные фильтры. В заключение приводится введение в дискретное вейвлет-преобразование на примере вейвлетов Хаара и Добеши.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение и практическое освоение аналитических и численных методов, используемых в цифровой обработке сигналов, в том числе при расчете и реализации цифровых фильтров.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для успешного освоения курса требуется знание разделов математического анализа, посвященных рядам и преобразованию Фурье, а также операционного исчисления.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
анализ и математическое моделирование физических процессов	системы ядерно-энергетического комплекса	ПК-1 [1] - Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать результаты научных исследований в	З-ПК-1[1] - знать основные методы научного познания, методы сбора и анализа информации;;

		<p>области прикладной математики и информационных технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>У-ПК-1[1] - уметь анализировать информацию, строить логические схемы, интерпретировать результаты научных исследований, критически мыслить, сравнивать результаты различных исследований, формировать собственную позицию в рамках рассматриваемой задачи;</p> <p>В-ПК-1[1] - владеть навыками работы с научной литературой и навыками интерпретации результатов научных исследований;</p>
анализ и математическое моделирование физических процессов	системы ядерно-энергетического комплекса	<p>ПК-1.1 [1] - способен применять цифровые методы обработки информации</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-1.1[1] - знать методы и алгоритмы компьютерной обработки информации;</p> <p>У-ПК-1.1[1] - уметь обоснованно выбирать алгоритмы при обработке данных;</p> <p>В-ПК-1.1[1] - владеть навыками использования компьютера и/или реализации алгоритмов обработки информации в программном обеспечении</p>
анализ и математическое моделирование физических процессов	системы ядерно-энергетического комплекса	<p>ПК-2 [1] - Способен понимать, применять и совершенствовать современный математический аппарат</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-2[1] - знать современный математический аппарат, используемый при описании, решении и анализе различных прикладных задач;</p> <p>У-ПК-2[1] - использовать современный</p>

			<p>математический аппарат для построения математических моделей и алгоритмов решения различных прикладных задач;</p> <p>В-ПК-2[1] - владеть навыками применения современного математического аппарата для построения математических моделей различных процессов, для обработки экспериментальных, статистических и теоретических данных, для разработки новых алгоритмов и методов исследования задач различных типов</p>
<p>производственно-технологический</p>			
<p>разработка и сопровождение программного обеспечения</p>	<p>информационные и программные системы</p>	<p>ПК-1.2 [1] - способен разрабатывать и применять прикладные программы при решении задач в области киберфизических и информационных систем</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.057, Анализ опыта: разработка математического и программного обеспечения киберфизических систем</p>	<p>З-ПК-1.2[1] - знать принципы построения и условия применения программ, используемых в задачах разработки и сопровождения киберфизических и информационных систем;</p> <p>У-ПК-1.2[1] - уметь обоснованно выбирать алгоритмы и программные средства для решения задач проектирования и сопровождения киберфизических и информационных систем;</p> <p>В-ПК-1.2[1] - владеть навыками использования прикладных программ при разработке и моделировании</p>

			киберфизических и информационных систем
--	--	--	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2. Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с

		<p>экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование профессионально значимых установок: не производить, не копировать и не использовать программные и технические средства, не приобретённые на законных основаниях; не нарушать признанные нормы авторского права; не нарушать тайны передачи сообщений, не практиковать вскрытие информационных систем и сетей передачи данных; соблюдать конфиденциальность доверенной информации (B40)</p>	<p>1. Использование воспитательного потенциала дисциплин "Информатика (Основы программирования)", Программирование (Объектно-ориентированное программирование)", "Программирование (Алгоритмы и структуры данных)" для формирования культуры написания и оформления программ, а также привития навыков командной работы за счет использования систем управления проектами и контроля версий.</p> <p>2. Использование воспитательного потенциала дисциплины "Проектная практика" для формирования культуры решения изобретательских задач, развития логического мышления, путем погружения студентов в научную и инновационную деятельность института и вовлечения в проектную работу.</p> <p>3. Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин для формирования навыков цифровой гигиены, а также системности и гибкости мышления, посредством изучения методологических и технологических основ обеспечения информационной безопасности и кибербезопасности при выполнении и защите результатов учебных заданий и лабораторных работ по криптографическим методам защиты информации в компьютерных системах и сетях.</p> <p>4. Использование воспитательного потенциала дисциплин "Информатика (Основы программирования)", Программирование (Объектно-</p>

		<p>ориентированное программирование)", "Программирование (Алгоритмы и структуры данных)" для формирования культуры безопасного программирования посредством тематического акцентирования в содержании дисциплин и учебных заданий.</p> <p>5.Использование воспитательного потенциала дисциплины "Проектная практика" для формирования системного подхода по обеспечению информационной безопасности и кибербезопасности в различных сферах деятельности посредством исследования и перенятия опыта постановки и решения научно-практических задач организациями-партнерами.</p>
--	--	---

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	6/6/12	Кл-8 (25)	25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-

							ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2
2	Часть 2	9-15	6/6/12	ЛР-15 (25)	25	КИ-15	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		12/12/24		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-



							ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
--	--	--	--	--	--	--	--

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Кл	Коллоквиум
ЛР	Лабораторная работа
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	12	12	24
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	6	6	12
1 - 4	<b>Элементы теории дискретных систем. Представление дискретных сигналов z-преобразованием.</b> Базовые дискретные сигналы. Линейная свертка последовательности. Линейные инвариантные к сдвигу системы. Импульсная характеристика системы. Связь между входным и выходным сигналами в линейных инвариантных к сдвигу системах. Устойчивые и физически реализуемые системы. Представление дискретных сигналов и систем в частотной области. Нахождение импульсной характеристики системы по ее частотной характеристике. Преобразование Фурье последовательности. Дискретизация аналоговых сигналов. Интерполяция аналогового сигнала по его дискретным отсчетам. Теореме Котельникова во временной и частотной областях. Прямое z-преобразование. Обратное z-преобразование. Свойства z-преобразования. Передаточная функция дискретной системы.	Всего аудиторных часов		
		2	2	4
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 8	<b>Дискретное преобразование Фурье. Вычисление свертки.</b> Представление периодических последовательностей	Всего аудиторных часов		
		4	4	8
		Онлайн		

	дискретным рядом Фурье. Свойства дискретных рядов Фурье. Выборки из z-преобразования. Интерполяционная формула. Представление последовательностей конечной длины дискретным преобразованием Фурье. Свойства дискретного преобразования Фурье. Круговая свертка последовательностей. Связь между линейной и круговой свертками последовательности конечной длины. Методы вычисления сверток секционированием. Метод перекрытия с суммированием. Метод перекрытия с накоплением.	0	0	0
<b>9-15</b>	<b>Часть 2</b>	6	6	12
9 - 11	<b>Быстрое преобразование Фурье и Хартли</b> Вычисление обратного дискретного преобразования Фурье с помощью алгоритмов прямого дискретного преобразования Фурье. Алгоритм быстрого преобразования Фурье по основанию 2 с прореживанием по времени. Алгоритм быстрого преобразования Фурье по основанию 2 с прореживанием по частоте. Алгоритм быстрого преобразования Фурье для составного значения N. Преобразование Хартли и его свойства . Быстрое преобразование Хартли.	Всего аудиторных часов		
		4	4	8
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 15	<b>Методы расчета цифровых фильтров. Вейвлет-преобразование.</b> Рекурсивные и нерекурсивные фильтры. Свойства цифровых КИХ-фильтров. Явление Гиббса. Расчет цифровых КИХ-фильтров при использовании окон. Практические приемы использования приемов использования окон. Расчет КИХ-фильтров методом частотной выборки. БИХ-фильтры. Расчет на основе аналоговых прототипов. Медианный фильтр и фильтр со скользящим средним. Основы дискретного вейвлет-преобразования.	Всего аудиторных часов		
		2	2	4
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

#### ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>8 Семестр</i>
1 - 8	<b>Подсчет числа операций - часть 1</b> Разработка программы, подсчитывающей число операций

	при вычислении свертки по определению. Адаптация к вычислению секционированной свертки.
9 - 16	<b>Подсчет числа операций - часть 2</b> Разработка программы, подсчитывающей число операций при вычислении свертки через быстрое преобразование Фурье и Хартли.

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>8 Семестр</i>
1 - 4	<b>z-преобразование и спектр</b> Вычисление спектра, передаточной функции.
5 - 8	<b>Дискретное преобразование Фурье</b> Вычисление прямого и обратного дискретного преобразования Фурье
9 - 11	<b>Быстрое преобразование Фурье</b> Вычисление быстрого преобразования Фурье с прореживанием по времени и по частоте.
12 - 16	<b>Дискретное вейвлет-преобразование</b> Вычисление прямого и обратного преобразования с использованием вейвлета Хаара.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс базируется на сочетании и совмещении теоретической и практической подготовки студентов в рамках единых занятий. В начале занятий в форме лекции даются теоретические основы и описываются методы решения задачи, а затем в форме семинара проводится закрепление пройденного материала посредством решения задач, оценки различных вариантов решений, а также совместного обсуждения изученных приемов.

В рамках данного курса проводится серия лабораторных работ, состоящая в выполнении ряда заданий по ходу изучения дисциплины в компьютерных классах кафедры, оборудованных новейшей вычислительной техникой с последующей защитой лабораторных работ.

Теоретический материал курса представлен в виде текста лекций.

Практические задания и темы лабораторных работ разработаны для выработки навыков практического применения методов анализа и синтеза дискретно-непрерывных САУ.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
-------------	---------------------	-----------------------------------

ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ЛР-15
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ЛР-15
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ЛР-15
ПК-1.1	З-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ЛР-15
	У-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ЛР-15
	В-ПК-1.1	Э, КИ-15, ЛР-15
ПК-1.2	З-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ЛР-15
	У-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ЛР-15
	В-ПК-1.2	Э, КИ-15, ЛР-15
ПК-2	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ЛР-15
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ЛР-15
	В-ПК-2	Э, КИ-15, ЛР-15

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно»

			ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	--	--	--

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ С 86 Реализация алгоритмов цифровой обработки сигналов в базисе программируемых логических интегральных схем : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. 004 С32 Цифровая обработка сигналов : учебное пособие для вузов, Санкт-Петербург: БХВ - Петербург, 2011
3. ЭИ С 81 Цифровая обработка сигналов. Водяные знаки в аудиофайлах : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. 517 Б82 Обработка цифровых сигналов и изображений с помощью вейвлетов : тексты лекций, Н. А. Борисенко, В. А. Нечитайло, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 004 С32 Цифровая обработка сигналов : учеб. пособие для вузов, А. Б. Сергиенко, М. [и др.]: Питер, 2007
2. 004 О-75 Основы цифровой обработки сигналов: курс лекций : учеб. пособие для вузов, А. И. Солонина [и др.], СПб: БХВ-Петербург, 2005
3. 621.39 Д24 Цифровая шумоочистка аудиоинформации : , С. В. Дворянкин ; ред. А. В. Петраков, Москва: РадиоСофт, 2011

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. СИНУС

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. СИСТЕМА ВЕКТОР (vector.mephi.ru)

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Проектор

## 2. Компьютерный класс ()

### 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

К классическим книгам по цифровой обработке сигналов можно отнести:

Оппенгейм, Шафер. Цифровая обработка сигналов. М.: Связь, 1979.

Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1978.

Капеллини В., Константинович А.Дж., Эмилиани П. Цифровые фильтры и их применение. М.: Энергоатомиздат, 1983.

Брейсуэл Р. Преобразование Хартли. Теория и приложения. М.: Мир, 1990.

Тем не менее имеется ряд современных учебников по цифровой обработке сигналов. Для изучения материала можно выбрать книгу, где изложение понятно, а материал воспринимается легко.

Следует посмотреть изложение тем z-преобразования, быстрое преобразование Фурье и Хартли, цифровые фильтры, дискретное вейвлет-преобразование.

Темы, на которые следует обратить внимание и рассмотреть на семинарах

1. Изучить материал по вопросу разложение периодических функций в ряд Фурье.
2. Изучить критерии устойчивости и физической реализуемости линейных инвариантных к сдвигу систем
- 3 Нахождение импульсной системы по ее частотной характеристике.
4. Представление дискретных сигналов и систем дискретным преобразованием Фурье.
5. Расчет цифровых БИХ и КИХ-фильтров.

### 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Темы, на которые следует обратить внимание и рассмотреть на семинарах

1. Изложить материал по вопросу разложение периодических функций в ряд Фурье.
2. Изложить критерии устойчивости и физической реализуемости линейных инвариантных к сдвигу систем
- 3 Показать нахождение импульсной системы по ее частотной характеристике.
4. Изложить представление дискретных сигналов и систем дискретным преобразованием Фурье.
5. Представить расчет цифровых БИХ и КИХ-фильтров.

Автор(ы):

Ктитров Сергей Викторович, к.т.н., доцент

