

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Обработка сигналов

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

---

Направленность образовательной программы  
Инженерия программного обеспечения

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.04 Обработка сигналов относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
<i>ПК-4: Способен проектировать программное обеспечение</i>	<p><i>ПК-4.1: Знает типовые решения, библиотеки программных модулей, шаблоны, классы объектов, используемые при разработке программного обеспечения</i></p> <p><i>ПК-4.2: Знает методы и средства проектирования программного обеспечения</i></p> <p><i>ПК-4.4: Умеет использовать существующие типовые решения и шаблоны проектирования программного обеспечения</i></p>	<p><i>ПК-4.1: знать методы анализа и исследования математических моделей в области цифровой обработки сигналов</i></p> <p><i>ПК-4.2: знать методы и средства проектирования программного обеспечения в области цифровой обработки сигналов</i></p> <p><i>ПК-4.4: Уметь определять ключевые свойства систем, предназначенных для цифровой обработки сигналов, и их ограничения</i></p>	<i>Задачи</i>	<i>Зачёт: Задачи</i>

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>16</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>16</b>

- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	
Понятие сигнала. Аналоговые и цифровые сигналы. Дискретизация	8	2	2	4	4
Преобразования сигналов. Частотный анализ и модуляция	9	2	2	4	5
Свёртка и корреляционный анализ сигналов	9	2	2	4	5
Случайные сигналы (шумы) и их характеристики	9	2	2	4	5
Введение в теорию цифровых фильтров	9	2	2	4	5
Синтез цифровых фильтров	9	2	2	4	5
Адаптивные и нелинейные фильтры	9	2	2	4	5
Вейвлет-анализ сигналов	9	2	2	4	5
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	16	16	33	39

### Содержание разделов и тем дисциплины

Цели и задачи изучения дисциплины.

Целью изучения дисциплины "Обработка сигналов" является формирование у обучающихся базовых знаний и умений по цифровой обработке сигналов. В задачи дисциплины входит знакомство обучающихся с фундаментальными знаниями о принципах и методах цифровой обработки сигналов, а также освоение практических знаний по их использованию, знакомство с методами цифровой обработки сигналов в библиотеках NumPy и SciPy на языке программирования Python.

В рамках курса предполагается освоение следующих тем:

1. Введение в цифровую обработку сигналов. Основные понятия. Аналого-цифровое преобразование. Теорема Котельникова. Алиасинг.
2. Ортогональные преобразования. Преобразование Фурье. Его свойства. Амплитудная, частотная и фазовая модуляции. Быстрое преобразование Фурье.
3. Определение свёртки и её свойства. Теорема о свёртке. Линейная и циклическая свёртка. Краевые эффекты. Введение в корреляционный анализ. Быстрая свёртка через БПФ.
4. Детерминированные и случайные сигналы. Основные характеристики случайного процесса.

Спектральная плотность мощности. Теорема Винера – Хинчина. Белый, розовый и красный (броуновский) шумы. Оценка СПМ по реализации конечной длины: методы Бартлетта и Уэлча.

5. Понятие цифрового фильтра. Основные характеристики фильтров. Классификация фильтров по типу АЧХ. Фильтры с конечной и бесконечной импульсными характеристиками. Фазовая характеристика фильтра и групповая задержка. Z-преобразование. Условие устойчивости БИХ-фильтров. Скользящее среднее, разностный фильтр, экспоненциально-сглаживающий фильтр.

6. Введение в синтез цифровых фильтров. Метод окон. Эффект Гиббса. Оконные функции Ханна, Хемминга, Блэкмана. Метод частотной выборки. Переходные отсчеты. Равноволновой метод (Паркса – МакКлеллана). Аналоговые прототипы БИХ-фильтров. Фильтр Баттерворта.

7. Базовые принципы адаптивной фильтрации. Структура адаптивного фильтра. Алгоритм наименьших средних квадратов LMS. Его вариации: нормализованный, рекурсивный. Нелинейные фильтры. Медианный фильтр. Фильтр Калмана. Адаптивная калмановская фильтрация. Гибридные методы на основе нейронных сетей.

8. Спектральный анализ нестационарных сигналов. Оконное преобразование Фурье. Идея вейвлетов. Непрерывное и дискретное вейвлет-преобразование. Вейвлеты Хаара, Добеши, койфлеты, МНАТ-вейвлет, вейвлеты Морле, Мейера, биортогональные вейвлеты.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для выполнения программы самостоятельной работы по курсу достаточно:

- (а) самостоятельной проработки лекционного и дополнительного материала
- (б) выполнить практическую часть дисциплины.

Практическая часть курса предлагает к решению около 50 задач различного направления и сложности, закрепляющих положения всей теоретической части и знакомящих обучающихся с типовыми решениями, библиотеками программных модулей, шаблонами, используемыми при разработке программного обеспечения в области цифровой обработки сигналов.

Задачи выполняются на языке программирования Python с применением библиотек NumPy и SciPy в среде Jupyter Notebook. Репозиторий с задачами находится по адресу:

<https://github.com/korzhimanov/dsp-seminars>

При выполнении самостоятельной работы студентам рекомендуется использовать конспекты лекций, а также рекомендуемую литературу:

- 1) Вадутов О.С. Математические основы обработки сигналов. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 212 с.
- 2) Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие; 3-е изд. – СПб: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.
- 3) Оппенгейм А. Шафер Р. Цифровая обработка сигналов: учебник; 3-е изд., испр. – М.: Техносфера, 2012. – 1048 с.

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

## 5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

### 5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

Даны аудиофайл full\_audio.wav и его фрагмент fragment.wav. Вычислите кросс-корреляцию между полным сигналом и фрагментом. Найдите позицию максимального значения корреляции и определите временное смещение (в отсчётах и в секундах). Постройте график кросс-корреляции и отметьте найденный пик. Вырежьте из полного сигнала участок, соответствующий найденной позиции, и прослушайте его (используйте Audio). Убедитесь, что он совпадает с фрагментом.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Решено более 80% задач
не зачтено	Решено менее 80% задач

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность	При решении стандартных задач не продемонстрированы	Продемонстрированы основные умения.	Продемонстрированы все основные	Продемонстрированы все основные	Продемонстрированы все основные	Продемонстрированы все основные умения.

	оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	ованы основные умения. Имели место грубые ошибки	Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

**5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:**

### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-4

Сгенерируйте сигнал длительностью 2 секунды с частотой дискретизации 1000 Гц в виде белого гауссова шума с нулевым средним и дисперсией 1. Для него вычислите оценку спектральной плотности мощности методом Уэлча с разной длиной сегмента:  $n_{\text{perseg}} = 64, 128, 256, 512$ . Используйте окно Ханна, перекрытие 50%. Постройте все четыре оценки на одном графике с логарифмической шкалой по Y.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Решено более 80% задач
не зачтено	Решено менее 80% задач

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Стариковский А. И. Цифровая обработка сигналов. Часть 1 : Учебное пособие. Ч. 1. Цифровая обработка сигналов. Часть 1 / Стариковский А. И., Стариковская Н. А., Унгер А. Ю. - Москва : РТУ МИРЭА, 2021. - 125 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции РТУ МИРЭА - Инженерно-технические науки. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=781303&idb=0>.
2. Стариковский А. И. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие. Ч. 2. Цифровая обработка сигналов. Часть 2 / Стариковский А. И., Стариковская Н. А., Солдатов Е. В. - Москва : РТУ МИРЭА, 2023. - 120 с. - Книга из коллекции РТУ МИРЭА - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-7339-1682-8. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=864670&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Цифровая обработка сигналов / Оппенгейм А., Шафер Р. - Москва : Техносфера, 2012. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=645438&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Язык программирования Python <https://www.python.org>

Библиотека Numpy <https://numpy.org>

Библиотека Scipy <https://scipy.org>

Среда Jupyter Notebook <https://jupyter.org>

Тексты заданий и шаблоны кода <https://github.com/korzhimanov/dsp-seminars>

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Коржиманов Артем Владимирович, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Золотых Николай Юрьевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.