

**Программа учебной дисциплины
«Цифровая обработка сигналов»**

Утверждена
Академическим советом ОП

Протокол № _____ от _____ . _____ .20 _____

Разработчик	Крещук Алексей Андреевич, Доцент, Кафедра технологий моделирования сложных систем
Число кредитов	5
Контактная работа (час.)	28
Самостоятельная работа (час.)	67
Курс, Образовательная программа	1 (М) курс, Науки о данных
Формат изучения дисциплины	Без использования онлайн курса

1. Цель, результаты освоения дисциплины и пререквизиты

Цели:

1. Изучить особенностей цифрового сигнала, его отличия от аналогового
2. Изучить методы построения цифровых фильтров, в том числе для передискретизации сигналов
3. Получить знания, необходимые для понимания принципов работы современных систем связи
4. Получить знания, необходимые для создания систем связи на основе программно-определяемого радио

Планируемые результаты обучения (ПРО):

1. Уметь классифицировать системы на линейные, стационарные, устойчивые, детерминированные
2. Применять Дискретное во времени преобразование Фурье
3. Вычислять прямое и обратное Z-преобразование
4. Знать основные свойства дискретного во времени преобразования Фурье и Z-преобразования
5. Уметь раскладывать изменение частоты дискретизации на рациональный множитель как композицию интерполяций и децимаций
6. Применять многофазовое разложение фильтров
7. Понимать устройство АЦП и ЦАП
8. Уметь модулировать и демодулировать АМ, ЧМ и ФМ сигналы
9. Уметь вычислять комплексную частотную характеристику линейных стационарных систем
10. Знать преимущества и недостатки минимально-фазовых систем и систем с обобщённой линейной фазой
11. Уметь реализовывать прямые и каскадные формы КИХ- и БИХ-систем
12. Уметь оценивать искажения вызванные квантованием коэффициентов и ошибками округления
13. Проектировать БИХ фильтры, основанных на непрерывных фильтрах
14. Проектировать КИХ фильтры оконным методом
15. Уметь использовать алгоритм Пакса-Мак-Клеллана для построения оптимальной аппроксимации КИХ фильтров
16. Уметь вычислять Дискретное преобразование Фурье с помощью алгоритма Кули-Тьюки
17. Уметь вычислять свёртку с помощью Быстрого преобразования Фурье
18. Применять фильтры Найквиста для формирования спектра сигнала

2. Содержание учебной дисциплины

Тема (раздел дисциплины)	Объем в часах	Планируемые результаты обучения (ПРО), подлежащие контролю	Формы контроля
	лк		
	см		
	опл/ср		
Дискретизация и квантование	2	№: 2, 4.	Кол.
	4		
	8		
Линейные стационарные системы	1	№: 1.	Кол.
	1		
	8		
Z-преобразование	1	№: 1, 3, 4.	Кол.
	1		
	8		
Дискретизация непрерывного сигнала	2	№: 5, 6, 7.	Кол, ДЗ.
	2		
	8		
Аналоговая модуляция	1	№: 8.	ДЗ, Экз.
	1		
	8		
Цифровые фильтры	3	№: 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15.	ДЗ, Экз.
	4		
	11		
Дискретное преобразование Фурье	1	№: 16, 17.	Экз.
	2		
	8		
Формирование спектра	1	№: 18.	Экз.
	1		
	8		
Часов по видам учебных занятий:	12		
	16		
	67		
Итого часов:	95		

Содержание разделов дисциплины:

1. Дискретизация и квантование

Передача сигналов. Дискретизация сигналов и спектров. Дискретное во времени преобразование Фурье и его свойства. Шум квантования. Представление чисел в фиксированной и плавающей точке.

2. Линейные стационарные системы

Классификация систем: линейные, стационарные, устойчивые, детерминированные (каузальные), без памяти. Импульсная и частотные характеристики. Критерии устойчивости и детерминированности. Разностные уравнения.

3. Z-преобразование

Область сходимости. Вычисление обратного Z-преобразования. Свойства Z-преобразования.

4. Дискретизация непрерывного сигнала

Частотное представление дискретизации. Восстановление узкополосного сигнала по его отсчётам. Дискретная обработка непрерывных сигналов. Изменение частоты дискретизации. Многофазовое разложение фильтров. Цифровая обработка аналоговых сигналов. Формирование шумов в АЦП и ЦАП.

5. Аналоговая модуляция

Амплитудная, частотная и фазовая модуляции. Перенос несущей частоты. Алгоритмы демодуляции

6. Цифровые фильтры

Анализ линейных стационарных систем. Минимально-фазовые системы и системы с обобщённой линейной фазой. Структуры для дискретных систем. Проблемы цифрового представления. Техника проектирования фильтров.

7. Дискретное преобразование Фурье

Дискретные ряды Фурье. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и его связь с Дискретным во времени преобразованием Фурье. Вычисление свёртки с помощью ДПФ. Быстрое преобразование Фурье (БПФ): алгоритм Кули-Тьюки. Использование БПФ для быстрой фильтрации сигнала: алгоритмы Overlap-Add и Overlap-Scrap.

8. Формирование спектра

Фильтры Найквиста. Фильтр root raised cosine.

3. Оценивание

- **Кол**, Не блокирующее, Коллоквиум

Коллоквиум представляет из себя устный экзамен. Каждый билет содержит два вопроса и задачу. Задачи берутся из книги Оппенгейма и Шафера.

- **ДЗ**, Не блокирующее, Домашнее задание

Для решения домашнего задания необходимо демодулировать сигнал, записанный в файле, изменить частоту его дискретизации, воспроизвести полученный звук и расслышать записанное число. Выбор языка программирования предоставляется студенту. Оценка определяется датой сдачи домашнего задания: в течение недели после лекции про проектирование цифровых фильтров - 10 баллов, за неделю до экзамена - 8 баллов, до экзамена - 7 баллов, после экзамена - 5 баллов.

- **Экз**, Блокирующее, Экзамен (устный)

Каждый билет содержит два вопроса и задачу. Задачи берутся из книги Оппенгейма и Шафера.

Формула округления: Стандартное арифметическое округление

Шкала оценки: Десятибалльная

Вид формулы оценивания: Линейная

Формула оценивания:

Окончательная оценка = Округление($1/4 * ДЗ + 1/4 * Кол + 1/2 * Экз$)

4. Примеры оценочных средств

Пример списка вопросов коллоквиума:

Дискретные системы. Линейность, стационарность, устойчивость, детерминированность (каузальность).

Линейные стационарные системы. Импульсная характеристика.

Линейные разностные уравнение с постоянными коэффициентами.

Преобразование Фурье. Его симметрии (для вещественного сигнала).

Теоремы о преобразовании Фурье: линейность, сдвиги, обращение времени, теорема Парсеваля и теорема о свёртке.

Z-преобразование.

Системы с рациональной характеристической функцией.

Дискретизация сигналов и спектров.

Дискретная обработка непрерывных сигналов.
 Непрерывная обработка дискретных сигналов.
 Шумы квантования.
 Системы с обобщённой линейной фазой.
 Представление чисел в фиксированной и плавающей запятой.

Пример вопросов экзамена:

1. Основные структуры для БИХ и КИХ систем. Прямые, каскадные и параллельные формы. Квантование коэффициентов.
2. Основные структуры для БИХ и КИХ систем. Прямые, каскадные и параллельные формы. Шумы округления.
3. Проектирование БИХ фильтров. Импульсная инвариантность.
4. Проектирование БИХ фильтров. Дробно-линейное преобразование.
5. Разработка КИХ фильтров оконным методом. Окна Бартлетта, Хэмминга, Кайзера.
6. Алгоритм Пакса-Мак-Клеллана.
7. ДПФ. Вычисление линейной и циклической свёртки через ДПФ.
8. БПФ.
9. Изменение частоты дискретизации. Децимация, интерполяция, изменение в рациональное число раз.
10. Полифазное (многофазовое) разложение фильтра.
11. Фильтры Найквиста.
12. $\Sigma\Delta$ АЦП и ЦАП. Формирование шумов.
13. Дискретное преобразование Гильберта.
14. Дискретное косинусное преобразование.

5. Ресурсы

5.1. Рекомендуемая основная литература

п/п	Наименование
1	Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов, Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер; Пер. с англ. С. А. Кулешова; Под ред. А. Б. Сергиенко. – 2-е изд., испр. – М.: Техносфера, 2007. – 855 с. - ISBN 978-5-948361-35-2.
2	Сайт dsplib.ru

5.2. Рекомендуемая дополнительная литература

п/п	Наименование
1	Steven W. Smith The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing

5.3. Программное обеспечение

п/п	Наименование	Условия доступа/скачивания
1	Microsoft Windows 7 Professional RUS Microsoft Windows 8.1 Professional RUS Microsoft Windows 10	Из внутренней сети университета (договор)
2	Microsoft Office Professional Plus 2010	Из внутренней сети университета (договор)

5.4. Профессиональные базы данных, информационные справочные системы, интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)

п/п	Наименование	Условия доступа/скачивания
Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы		
1	Электронно-библиотечная система Юрайт	URL: https://biblio-online.ru/
Интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)		

5.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для лекционных по дисциплине обеспечивают использование и демонстрацию тематических иллюстраций, соответствующих программе дисциплины в составе:

- ПЭВМ с доступом в Интернет (операционная система, офисные программы, антивирусные программы);

- мультимедийный проектор с дистанционным управлением.

Учебные аудитории для семинарских и самостоятельных занятий по дисциплине оснащены ПЭВМ, с возможностью подключения к сети Интернет и доступом к электронной информационно-образовательной среде НИУ ВШЭ.

6. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида, могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

6.1.1. *для лиц с нарушениями зрения:* в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

6.1.2. *для лиц с нарушениями слуха:* в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

6.1.3. *для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:* в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.