

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет имени  
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Институт информационных технологий и радиоэлектроники

**«УТВЕРЖДАЮ»**  
Директор института  
  
А.А.Галкин  
2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**"ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВАХ"**

**Направление подготовки/специальность:**

11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

**Направленность (профиль) подготовки:**

Мобильные средства связи

г. Владимир  
2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Обработка сигналов в цифровых устройствах» является подготовка в области знания теоретических основ, принципов построения трактов приема и аналого-цифровой обработки сигналов радиотехнических систем.

Задачи: Формирование практических навыков проектирования устройств обработки сигналов и работы со средствами контроля и измерения их параметров.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Обработка сигналов в цифровых устройствах» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1. Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации УК-1.2. Умеет соотносить разнородные явления и систематизировать их в рамках избранных видов профессиональной деятельности УК-1.3. Владеет навыками научного поиска и практической работы с информационными источниками; методами принятия решений.	Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации по методам обработки сигналов Умеет систематизировать методы обработки сигналов звука и изображения Владеет навыками научного поиска и практической работы с информационными источниками при выборе методов обработки сигналов.	Тестовые вопросы Практико-ориентированное задание
ПК-1. Способен осуществлять подготовку типовых технических проектов и первичный контроль соответствия	ПК-1.1. Знает принципы системного подхода в проектировании систем связи (телекоммуникаций)  ПК-1.2. Знает современные технические решения создания объектов и систем связи	Знает методы расчета электрических принципиальных схем усиления, фильтрации и преобразования сигналов Умеет использовать стандартные программы для расчета и моделирования электрических принципиальных схем усиления, фильтрации и	Тестовые вопросы Практико-ориентированное задание

<p>разрабатываемых проектов и технической документации на различные инфокоммуникационные объекты национальным и международным стандартам и техническим регламентам</p>	<p>(телекоммуникационных систем) и ее компонентов, новейшее оборудование и программное обеспечение.</p> <p>ПК-1.3. Умеет использовать нормативно-техническую документацию при разработке проектной документации.</p> <p>ПК-1.4. Владеет навыками оформления проектной документации в соответствии со стандартами и техническими регламентами</p>	<p>преобразования сигналов.</p> <p>Владеет навыками использования стандартных программ для расчета и моделирования электрических принципиальных схем усиления, фильтрации и преобразования сигналов.</p>	
--	--	--	--

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единицы, 180 часа.

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Структуры аналого-цифрового преобразователя (АЦП) сигналов и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП).	7	1-3	2				10	
2	Искажения сигнала за счет квантования.	7	4-6	4	4	4	2	16	Рейтинг-контроль 1



3	Сокращение числа разрядов квантователя	7	7-9	2	4	6	2	25	
4	Модель формирования РС.	7	10-12	4		4	2	25	Рейтинг-контроль 2
5.	Речевой кодек на основе модели формирования РС.	7	13-15	2	8	2	3	25	
6	Использование векторного квантования при построении речевого кодека.	7	16-18	4	2	2	3	25	Рейтинг-контроль 3
Всего за 7 семестр				18	18	18		126	Зачет
Наличие в дисциплине КП, КР									-
Итого по дисциплине				18	18	18		126	Зачет

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

Тема 1. Структуры аналого-цифрового преобразователя сигналов и цифро-аналогового преобразователя

Искажения, возникающие при АЦП сигналов. Искажения за счет дискретизации.

Искажения за счет квантования. Структура ЦАП: Роль фильтра нижних частот. Скорость потока данных.

Тема 2. Искажения сигнала за счет квантования.

Определение числа разрядов квантователя. Выбор шага квантования. Выбор числа уровней квантования. Обработка нестационарных сигналов. Выбор шага квантования. Выбор числа уровней квантования

Тема 3 Сокращение числа разрядов квантователя

Изменение шага квантования. Компандирование. Адаптивное квантование.

Использование предсказывающего фильтра. Выбор порядка предсказания. Разностное квантование

Тема 4. Модель формирования речевого сигнала

Формирование звуков речи. Вокализованные звуки. Невокализованные звуки.

Синтезирующий фильтр, источник возбуждения. Простая модель формирования речевого сигнала. Ограничения модели.

Тема 5. Речевой кодек на основе модели формирования РС

Структура кодера. Формирование остатка предсказания. Классификатор звуков.

Структура декодера. Набор входных параметров. Причины искажений синтезированного сигнала

Тема 6. Использование векторного квантования при построении речевого кодека.

Понятие о векторном квантовании. Учет статистической связи между квантуемыми параметрами. Погрешность квантования. Формирование сигнала возбуждения синтезирующего фильтра. Кодовая книга. Анализ сигнала через его синтез.

## **Содержание лабораторных работ по дисциплине**

Тема 2 . Искажения сигнала за счет квантования.

Определение числа разрядов квантователя. Выбор шага квантования. Выбор числа уровней квантования

Исследование квантователя с постоянным шагом квантования в системе Matlab

Тема 3. Сокращение числа разрядов квантователя

Изменение шага квантования. Компандирование. Адаптивное квантование.

Использование предсказывающего фильтра. Выбор порядка предсказания. Разностное квантование. Квантователь с использованием компандирования. Адаптивный квантователь. Разностный квантователь

Тема 4. Модель формирования речевого сигнала

Синтезирующий фильтр, источник возбуждения. Простая модель формирования речевого сигнала. Ограничения модели. Исследование анализирующего фильтра кодера

Тема 5. Речевой кодек на основе модели формирования РС

Структура кодера. Формирование остатка предсказания. Классификатор звуков.

Исследование измерителя основного тона.

Тема 6. Использование векторного квантования при построении речевого кодека.

Формирование сигнала возбуждения синтезирующего фильтра. Кодовая книга. Анализ сигнала через его синтез. Исследование CELP речевого кодека.

## **Содержание практических занятий по дисциплине**

Тема 2. Искажения сигнала за счет квантования.

Определение числа разрядов квантователя. Выбор шага квантования. Выбор числа уровней квантования. Расчет АЦП и определение скорости потоков данных

Тема 3 Сокращение числа разрядов квантователя

Изменение шага квантования. Компандирование. Адаптивное квантование.

Определение длительности интервала, на котором определяется шаг квантования

Тема 5. Речевой кодек на основе модели формирования РС

Структура кодера. Формирование остатка предсказания. Классификатор звуков

Определение зависимости мощности остатка предсказания от порядка предсказания

Тема 6. Использование векторного квантования при построении речевого кодека.

Формирование сигнала возбуждения синтезирующего фильтра. Кодовая книга. Анализ сигнала через его синтез.

Определение зависимости искажений синтезированного сигнала от объема кодовой книги



## **5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **5.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **Вопросы и задания к рейтинг-контролю №1**

1. С какой целью перед АЦП устанавливают ФНЧ?
2. Укажите причины искажений сигнала, возникающие при АЦП.
3. С какой целью в ЦАП устанавливают ФНЧ?
4. Как правильно выбрать частоту дискретизации?
5. Почему шаг квантования не может быть очень малым?
6. Как определить скорость потока данных после АЦП?
7. Какие преимущества имеет цифровой сигнал перед аналоговым?

#### **Вопросы и задания к рейтинг-контролю №2**

1. Почему использование компандирования при квантовании позволяет снизить число разрядов квантователя?
2. Почему использование адаптивного квантования позволяет снизить число разрядов квантователя?
3. Дайте сравнительную характеристику квантователей: с постоянным шагом, с компандированием, с изменяемым шагом (адаптивный квантователь).
4. По каким причинам ограничивают порядок предсказания свеху?
5. Как зависит мощность разностного сигнала (разностный квантователь) от порядка предсказания?

#### **Вопросы и задания к рейтинг-контролю №3**

1. Как на практике используется модель формирования речевого сигнала?
2. Как можно определить частоту основного тона речевого сигнала?
3. В чем заключается отличие вокализованных звуков от невокализованных?
4. В чем заключается преимущество векторного квантования перед скалярным?
5. Что означает понятие «анализ сигнала через его синтез»?
6. Что является причиной сильных искажений сигнала на выходе простого речевого кодека?

### **5.2 Промежуточная аттестация**

#### **Вопросы к зачету**

1. Структуры аналого-цифрового преобразователя (АЦП) сигналов и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Искажения сигнала за счет дискретизации. Выбор частоты дискретизации
2. Искажения сигнала за счет квантования. Выбор шага квантования при АЦП. Расчет числа разрядов квантователя. Ограничение сигнала. Нестационарный сигнал.
3. Квантование с использованием компандирования сигналов.
4. Адаптивный квантователь. Выбор размера сегмента, на котором определяется шаг квантования.
5. Разностный квантователь. Предсказывающий фильтр. Адаптивный разностный квантователь.
6. Механизм формирования речевых сигналов (РС). Классификация звуков.

Модель формирования РС. Скорость потока данных РС при использовании модели.

7. Речевой кодек на основе модели формирования РС. Структура кодека.
8. Определение параметров синтезирующего фильтра кодека.
9. Определение периода основного тона и коэффициента усиления. Причины искажений синтезированного сигнала.
10. Понятие о векторном квантовании
11. Использование векторного квантования при формировании сигнала возбуждения синтезирующего фильтра. CELP – кодек.

### 5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

СРС с лекционными материалами.

Вопросы, структурированные к СРС.

Тема 1. Структуры аналого-цифрового преобразователя сигналов и цифро-аналогового преобразователя

1. Теорема Котельникова

- а) позволяет определить уровень искажений сигнала при АЦП;
- б) позволяет определить минимальный шаг квантования при АЦП;
- в) позволяет определить минимальную частоту дискретизации при АЦП.

2. Шаг квантования нельзя устанавливать очень малым так как:

- а) увеличивается степень искажений сигнала;
- б) снижается помехоустойчивость передачи данных;
- в) увеличивается поток данных

3. С какой целью перед АЦП устанавливают ФНЧ?

- а) ограничение спектра сигнала позволяет уменьшить шаг квантования;
- б) ограничение спектра сигнала позволяет уменьшить частоту дискретизации;
- в) ограничение спектра сигнала позволяет повысить помехоустойчивость АЦП.

4. С какой целью в ЦАП устанавливают ФНЧ?

- а) выделяется спектр аналогового сигнала;
- б) повышается помехоустойчивость ЦАП;
- в) повышается стабильность работы ЦАП.

Тема 2. Искажения сигнала за счет квантования.

1. С увеличением шага квантования:

- а) увеличивается отношение сигнал/шум;
- б) уменьшается отношение сигнал/шум;
- в) увеличивается число разрядов квантователя.

2. Число разрядов квантователя увеличивается:

- а) при увеличении шага квантования;
- б) при уменьшении шага квантования;
- в) при увеличении частоты дискретизации.

3. В случае нестационарных сигналов:

- а) шаг квантования выбирают с учетом малого уровня сигнала;
- б) шаг квантования выбирают с учетом большого уровня сигнала;
- в) шаг квантования выбирают с учетом среднего уровня сигнала;

4. В случае нестационарных сигналов:



- а) число уровней квантования выбирают с учетом малого уровня сигнала;
- б) число уровней квантования выбирают с учетом большого уровня сигнала;
- в) число уровней квантования выбирают с учетом среднего уровня сигнала;

### Тема 3. Сокращение числа разрядов квантователя

1. Квантование с компандированием позволяет:
  - а) увеличивать шаг квантования с ростом уровня сигнала;
  - б) уменьшать шаг квантования с ростом уровня сигнала;
  - в) увеличивать число уровней квантования.
2. При адаптивном квантовании:
  - а) увеличивается шаг квантования с ростом уровня сигнала;
  - б) уменьшается шаг квантования с ростом уровня сигнала;
  - в) уменьшается отношение сигнал-шум по сравнению с компандированием.
3. При разностном квантовании:
  - а) квантуется разность между соседними отсчетами сигнала;
  - б) квантуется разность между предсказанным и текущим отсчетами сигнала;
  - в) уменьшается отношение сигнал-шум по сравнению с компандированием.
4. Почему порядок предсказания не может быть очень большим:
  - а) теряется устойчивость системы;
  - б) увеличиваются поток данных, передаваемых по каналу связи, и объем вычислений;
  - в) предсказывающий фильтр теряет устойчивость.

### Тема 4. Модель формирования речевого сигнала (РС)

1. Каким образом модель формирования речевого сигнала позволяет обеспечить сжатие потоков данных речи?
  - а) по каналу связи передаются параметры модели, число параметров модели невелико, и они обновляются относительно медленно;
  - б) уменьшается количество разрядов чисел, передаваемых по каналу связи;
  - в) уменьшается частота дискретизации сигнала.
2. Фильтр линейного предсказания:
  - а) подавляет помехи в речевом сигнале;
  - б) на основе предыдущих отсчетов сигнала формирует последующий отсчет;
  - в) подавляет высокочастотные спектральные компоненты сигнала.
3. Частота основного тона:
  - а) равна частоте вибраций голосовых связок;
  - б) указывает на максимальную частоту спектра сигнала;
  - в) характеризует невокализованный звук.
4. Синтезирующий фильтр:
  - а) подавляет высокочастотные спектральные компоненты сигнала;
  - б) отражает работу органов артикуляции;
  - в) подавляет помехи в речевом сигнале.

### Тема 5. Речевой кодек на основе модели формирования речевого сигнала (РС)

1. На выходе кодера речевого сигнала:
  - а) формируются параметры РС;
  - б) формируется РС;
  - в) формируется помехоустойчивый поток данных.
2. Какой метод используется при классификации звуков на вокализованные и невокализованные?
  - а) функция средней разности AMDF;
  - б) вычисляется мощность каждого сегмента речевого сигнала;



- в) определяется среднее значение мощности РС.
- 3. Каким образом определяется сигнал остатка предсказания?
  - а) определяется разность между текущим и предсказанным отсчетами сигнала;
  - б) определяется разность между синтезированным и входным сигналами кодека;
  - в) определяется среднее значение мощности РС.
- 4. Искажения синтезированного сигнала, главным образом, обусловлены:
  - а) малой частотой дискретизации сигнала во времени;
  - б) отличием сигнала возбуждения фильтра от остатка предсказания;
  - в) наличием помехи в речевом сигнале.

Тема 6. Использование векторного квантования при построении речевого кодека.

1. Векторное квантование позволяет:
  - а) совокупность нескольких параметров передать в виде одного числа;
  - б) увеличить точность передачи информации;
  - в) увеличить скорость передачи данных.
2. Векторное квантование сигнала возбуждения синтезирующего фильтра:
  - а) позволяет уменьшить частоту дискретизации речевого сигнала;
  - б) позволяет уменьшить степень искажений сигнала возбуждения;
  - в) позволяет повысить помехоустойчивость передачи данных.
3. Векторное квантование целесообразно использовать, когда:
  - а) квантуемые параметры зависимы друг от друга;
  - б) квантуемые параметры не зависимы друг от друга;
  - в) число квантуемых параметров невелико.
4. Анализ сигнала с использованием его синтеза позволяет:
  - а) уменьшить скорость потока данных, поступающих в канал связи;
  - б) повысить точность определения параметров сигнала;
  - в) снизить объём вычислительных затрат.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

№ п/п	Название и выходные данные (автор, издательство, издание, количество страниц)	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
			Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
Основная литература			
1	Афанасьев, А. А. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие для вузов / Афанасьев А. А., Рыболовлев А. А., Рыжков А. П. - Москва: Горячая линия - Телеком, 2019. - 356 с. - ISBN 978-5-9912-0611-2. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]: Режим доступа: по подписке.	2019	<a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991206112.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991206112.html</a>

2	Борисова, И. В. Цифровые методы обработки информации: учеб. пособие / Борисова И. В. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. - 139 с. - ISBN 978-5-7782-2448-3. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. Режим доступа: по подписке.	2017	<a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778224483.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778224483.html</a>
3	Левин Е. К. Обработка сигналов звука и изображений в системах связи: конспект лекций по дисциплине «Обработка сигналов» для студентов ВлГУ, обучающихся по направлениям 11.03.01 «Радиотехника»	2018	<a href="http://dspace.www1.vlsu.ru/handle/123456789/7065">http://dspace.www1.vlsu.ru/handle/123456789/7065</a>
Дополнительная литература			
	Исследование устройств приема и обработки сигналов: метод. указания к лабораторным работам/ Е.К.Левин; Владим. гос. ун-т.- Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007.-60 с	2007	<a href="http://dspace.www1.vlsu.ru/handle/123456789/1195">http://dspace.www1.vlsu.ru/handle/123456789/1195</a>
	Исследование алгоритмов обработки сигналов в системе Matlab: метод. указания к лабораторным работам/ Е.К.Левин; Владим. гос. ун-т.- Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011.-78 с.	2011	<a href="http://dspace.www1.vlsu.ru/handle/123456789/3046">http://dspace.www1.vlsu.ru/handle/123456789/3046</a>
	В. Ф. Кравченко Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях [Электронный ресурс] / В. Ф. Кравченко - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007, 544 с. - ISBN 978-5-9221-0871	2007	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922108713.htm">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922108713.htm</a>
	Головин О.В. Устройства генерирования, формирования, приема и обработки сигналов [Электронный ресурс] : Учебное пособие для вузов / Головин О.В. - М. : Горячая линия - Телеком, 2012, 783 с., ISBN 978-5-9912-0196-4.-	2012	<a href="http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/3046">http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/3046</a>

## 6.2. Периодические издания

### Отечественные журналы:

- Радиотехника;
- Радиотехника и электроника;
- Приборы и техника эксперимента;

- Цифровая обработка сигналов.

**Зарубежные журналы:**

- IEEE Transactions on Communications;
- IEEE Transactions on Signal Processing;
- IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement.

**6.3. Интернет ресурсы**

<http://www.studentlibrary.ru/>

<http://dspace.www1.vlsu.ru>

**7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для реализации данной дисциплины имеется специальное помещение для проведения занятий лекционного, практического и лабораторного типов, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, для самостоятельной работы. Лекционные занятия проводятся в ауд. 301-3. Практические занятия – в ауд.410-3, лабораторные - в ауд.504-3

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает: кафедральные мультимедийные средства (ауд. 301-3); наборы слайдов к лекциям; оборудование специализированной лаборатории (504-3, 410-3); программные среды: Matlab, Multisim.



Рабочую программу составил Левин Е. К. профессор каф. РТ и РС



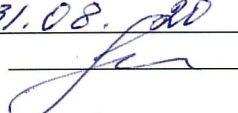
Рецензент

«Владимирское КБ Радиосвязи» Генеральный директор Богданов А.Е.



Программа рассмотрена и одобрена на заседании каф. РТ и РС

Протокол № 1 от 31.08.20

Заведующий кафедрой РТ и РС  Никитин О.Р.

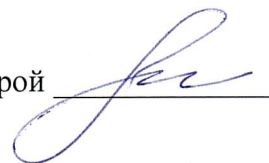
Рабочая программа рассмотрена и одобрена

на заседании учебно-методической комиссии направления 11.03.02

«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Протокол № 1 от 4.09.20 года

Председатель комиссии Никитин О.Р., заведующий кафедрой



**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20 21 / 20 22 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 28.08.21 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

*OP Липкин*

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 29.08.22 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

*ИИ Шершнев*

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

**ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ  
В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

«Обработка сигналов в цифровых устройствах»

Образовательной программы направления подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи»

направленность: «Мобильные средства связи»

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Зав. кафедрой Никитин О.Р. \_\_\_\_\_