

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

---

Направление подготовки/специальность: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Наименование образовательной программы: Радиоэлектронные системы и комплексы

Уровень образования: высшее образование - специалитет

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**5G/4G ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В БАЗОВЫХ СТАНЦИЯХ**

|                                          |                                                                 |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>Блок:</b>                             | <b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>                             |
| <b>Часть образовательной программы:</b>  | <b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b> |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>   | <b>Б1.Ч.20.03.01</b>                                            |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b> | <b>9 семестр - 3;</b>                                           |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>  | <b>108 часов</b>                                                |
| <b>Лекции</b>                            | <b>9 семестр - 32 часа;</b>                                     |
| <b>Практические занятия</b>              | <b>9 семестр - 16 часов;</b>                                    |
| <b>Лабораторные работы</b>               | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Консультации</b>                      | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>Самостоятельная работа</b>            | <b>9 семестр - 59,7 часа;</b>                                   |
| <b>в том числе на КП/КР</b>              | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Иная контактная работа</b>            | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>включая:</b>                          |                                                                 |
| <b>Контрольная работа</b>                |                                                                 |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>         |                                                                 |
| <b>Зачет с оценкой</b>                   | <b>9 семестр - 0,3 часа;</b>                                    |

**Москва 2024**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

---

|                                                                                   |                                                    |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|                                                                                   | Владелец                                           | Бахурин С.А.                  |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | Rab8b5018-BakhurinSA-f43d4478 |

С.А. Бахурин

---

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

---

|                                                                                   |                                                    |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|                                                                                   | Владелец                                           | Сизякова А.Ю.                  |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | R4eb30863-SiziakovaAY-83831ea7 |

А.Ю. Сизякова

---

Заведующий выпускающей  
кафедрой

---

|                                                                                   |                                                    |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|                                                                                   | Владелец                                           | Куликов Р.С.                 |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | R7ef0b374-KulikovRS-e851162c |

Р.С. Куликов

---

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение теоретических основ адаптивной цифровой обработки сигналов в современных базовых станциях стандарта 4G/5G.

### **Задачи дисциплины**

- изучение теории принципов построения базовых станций беспроводной мобильной связи стандартов 4G/5G;
- изучение теоретических основ линейной и нелинейной адаптивной цифровой обработки сигналов в системах беспроводной связи стандартов 4G/5G;
- приобретение знаний и умений для практических приложений адаптивной цифровой обработки сигналов в современных системах передачи информации.

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-1 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы подсистем радиоэлектронных систем и комплексов, в том числе с использованием математического моделирования алгоритмов формирования, передачи, приема и обработки радиосигналов | ИД-1ПК-1 Знает методы выполнения расчетов основных технических характеристик схем подсистем радиоэлектронных систем и комплексов                                | знать:<br>- методы цифровой обработки сигналов для моделирования цифровой части приемопередающего тракта систем и комплексов связи 4G/5G;<br>- методы предсказаний сигнала передатчика и посткоррекции аналогового тракта приемника;<br>- методы построения адаптивных идентификаторов линейных и нелинейных искажений аналоговых трактов радиоэлектронных систем и комплексов;<br>- методы оценки оптимальных коэффициентов адаптивных фильтров, основанные на методах оптимизации первого и второго порядка. |
| ПК-1 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы подсистем радиоэлектронных систем и комплексов, в том числе с использованием математического моделирования алгоритмов формирования, передачи, приема и обработки радиосигналов | ИД-2ПК-1 Умеет использовать методы математических расчетов характеристик радиотехнических устройств, систем и процессов для анализа и оптимизации их параметров | уметь:<br>- использовать методы адаптации при построении корректоров аналоговых трактов системы связи;<br>- моделировать линейные и нелинейные искажения аналоговых трактов, а также структуры адаптивных корректоров.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радиоэлектронные системы и комплексы (далее – ОПОП), направления подготовки 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, уровень образования: высшее образование - специалитет.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основы линейной алгебры (произведение векторов и матриц, обращение матриц, решение систем линейных алгебраических уравнений)
- знать основы теории функций комплексного переменного (голоморфность, аналитичность, условия дифференцируемости)
- знать основы теории вероятностей, математической статистики и теории случайных процессов (понятие вероятности, математического ожидания, дисперсии, условной и совместной плотности вероятности, автокорреляционной функции и спектральной плотности мощности, понятие стационарности и эргодичности случайного процесса)
- знать основы цифровой обработки сигналов (цифровые фильтры КИХ, БИХ и их характеристики, дискретное преобразование Фурье, быстрое преобразование Фурье)
- знать основы радиотехнических цепей и сигналов (понятие аналоговой и цифровой модуляции, линейные и нелинейные приемопередающие тракты систем связи, смесители и усилители мощности радиосигналов)
- уметь вычислять произведения векторов и матриц, рассчитывать обратные матрицы, решать системы линейных уравнений с использованием математических пакетов
- уметь рассчитывать выборочные статистические оценки математического ожидания, дисперсии, автокорреляционной функции и спектральной плотности мощности
- уметь рассчитывать характеристики цифровых фильтров: амплитудно-частотные, фазочастотные характеристики и групповое время запаздывания

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 3 зачетных единицы, 108 часов.

| №<br>п/п | Разделы/темы<br>дисциплины/формы<br>промежуточной<br>аттестации                                | Всего часов<br>на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |   |     |    |    |                      |                                         | Содержание самостоятельной работы/<br>методические указания                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------|-----|----|--------------|---|-----|----|----|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                                                |                          |         | Контактная работа                                                    |     |    |              |   |     |    | СР |                      |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|          |                                                                                                |                          |         | Лек                                                                  | Лаб | Пр | Консультация |   | ИКР |    | ПА | Работа в<br>семестре | Подготовка к<br>аттестации<br>/контроль |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| КПР      | ГК                                                                                             | ИККП                     | ТК      |                                                                      |     |    |              |   |     |    |    |                      |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1        | 2                                                                                              | 3                        | 4       | 5                                                                    | 6   | 7  | 8            | 9 | 10  | 11 | 12 | 13                   | 14                                      | 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 1        | Теоретические основы адаптивной цифровой обработки сигналов в базовой станции 4G/5G            | 27                       | 9       | 8                                                                    | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 15                   | -                                       | <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Изучение материалов по разделу Теоретические основы адаптивной цифровой обработки сигналов в базовой станции 4G/5G и подготовка к контрольной работе<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[3], стр. 477-560          |
| 1.1      | Теоретические основы адаптивной цифровой обработки сигналов в базовой станции 4G/5G            | 27                       |         | 8                                                                    | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 15                   | -                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 2        | Адаптация коэффициентов линейных цифровых корректоров аналоговых трактов базовой станции 4G/5G | 27                       |         | 8                                                                    | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 15                   | -                                       | <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Изучение материалов по разделу Адаптация коэффициентов линейных цифровых корректоров аналоговых трактов базовой станции 4G/5G и подготовка к контрольной работе<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[2], стр. 36-93 |
| 2.1      | Адаптация коэффициентов линейных цифровых корректоров аналоговых трактов базовой станции 4G/5G | 27                       |         | 8                                                                    | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 15                   | -                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 3        | Введение в теорию адаптивной коррекции усилителей мощности передающего тракта                  | 27                       |         | 8                                                                    | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | -                    | 15                                      | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|     |                                                                                                     |       |    |   |    |   |   |   |   |     |      |   |                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----|---|----|---|---|---|---|-----|------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | базовой станции 4G/5G                                                                               |       |    |   |    |   |   |   |   |     |      |   | станции 4G/5G и подготовка к контрольной работе                                                                                                                                                                                                                    |
| 3.1 | Введение в теорию адаптивной коррекции усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G | 27    | 8  | - | 4  | - | - | - | - | -   | 15   | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u><br>[4], стр. 17-64                                                                                                                                                                                             |
| 4   | Многослойные адаптивные корректоры усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G     | 26.7  | 8  | - | 4  | - | - | - | - | -   | 14.7 | - | <u>Подготовка к контрольной работе:</u><br>Изучение материалов по разделу Многослойные адаптивные корректоры усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G и подготовка к контрольной работе<br><u>Изучение материалов литературных источников:</u> |
| 4.1 | Многослойные адаптивные корректоры усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G     | 26.7  | 8  | - | 4  | - | - | - | - | -   | 14.7 | - | [1], стр. 324-405                                                                                                                                                                                                                                                  |
|     | Зачет с оценкой                                                                                     | 0.3   | -  | - | -  | - | - | - | - | 0.3 | -    | - |                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|     | Всего за семестр                                                                                    | 108.0 | 32 | - | 16 | - | - | - | - | 0.3 | 59.7 | - |                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|     | Итого за семестр                                                                                    | 108.0 | 32 | - | 16 | - | - | - | - | 0.3 | 59.7 | - |                                                                                                                                                                                                                                                                    |

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – 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. Теоретические основы адаптивной цифровой обработки сигналов в базовой станции 4G/5G

#### 1.1. Теоретические основы адаптивной цифровой обработки сигналов в базовой станции 4G/5G

Эволюция систем цифровой сотовой связи 2G (GSM) -> 3G (CDMA) -> 4G (LTE) -> 5G (MIMO). Обобщенная структура приема-передающего тракта системы. Основные характеристики основных элементов структуры (полосы передающего и принимающего сигналов, частоты несущих, частоты АЦП, ЦАП, параметры дуплексора, выходные мощности усилителя). Модули линейной и нелинейной адаптивной коррекции в приеме-передающем тракте системы цифровой связи. Квадратурное представление комплексной огибающей сигналов. Структура цифрового КИХ-фильтра и его характеристики. Прохождение сигнала через КИХ-фильтр. Выход фильтра в виде линейной свертки. Понятие вектора состояния фильтра и вектора коэффициентов. Адаптивный фильтр как фильтр с изменяющимися коэффициентами. Понятие опорного сигнала. Ошибка адаптации и критерий минимума среднего квадрата ошибки. Временные соотношения сигналов в адаптивном линейном фильтре. Блочная обработка сигналов. Основные статистические свойства сигнала как стационарного эргодического случайного процесса. Корреляционная матрица и ее свойства. Оценка корреляционной матрицы сигнала по ограниченной выборке. Смещенные и несмещенные выборочные оценки..

### 2. Адаптация коэффициентов линейных цифровых корректоров аналоговых трактов базовой станции 4G/5G

#### 2.1. Адаптация коэффициентов линейных цифровых корректоров аналоговых трактов базовой станции 4G/5G

Понятие скалярной и векторной функции скалярного и векторного аргумента. Понятие вектора градиента, Гессiana, Якобиана. Краткий обзор методов минимизации целевой функции. Анализ целевой функции минимума СКО как негломорфной функции и обзор методов дифференцирования скалярной вещественнозначной функции векторного комплексного аргумента. Решение задачи адаптации коэффициентов КИХ-фильтра по критерию минимума СКО. Дифференцирование целевой функции по векторному аргументу. Уравнение Винера-Хопфа. Решение задачи минимизации при оценке корреляционной матрицы сигнала. LS алгоритм. Фильтр Винера. Обзор алгоритмов численного решения LS. LU-алгоритм, QR-алгоритм, SVD разложение корреляционной матрицы. Практические аспекты использования LS оценки при ограничении полосы сигнала. Регуляризация решения и использование псевдоинверсии для расчета коэффициентов фильтра. Метод градиентного спуска при адаптации фильтра. LMS алгоритм. Устойчивость LMS алгоритма и сходимость LMS и LS оценок в предельном переходе с уменьшением шага адаптации. Регуляризация LMS алгоритма методом утечки. RLS алгоритм адаптации линейного фильтра как результат итерационной оценки на основе Леммы об инверсии матрицы. Введение в адаптивную Калмановскую фильтрацию..

### 3. Введение в теорию адаптивной коррекции усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G

#### 3.1. Введение в теорию адаптивной коррекции усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G

Нелинейные характеристики AM-AM AM-PM. Общее описание нелинейной модели. Ряд Вольтера. Построение системы адаптивной коррекции методами прямого и непрямого

обучения. Модель нелинейного усилителя без памяти. Способы аппроксимации нелинейной функции. Полиномиальная аппроксимация, преимущества и недостатки. Численная неустойчивость полиномиальной модели с ростом порядка полинома. Использование ортогональных полиномов для повышения численной устойчивости полиномиальной аппроксимации. Реализационные проблемы использования полиномиальных моделей усилителя мощности. Модель усилителя с линейной и нелинейной памятью. Полиномиальная модель с памятью. Структура корреляционной матрицы нелинейного адаптивного фильтра. Сравнение характеристик нелинейной аппроксимации моделей с памятью и без..

#### 4. Многослойные адаптивные корректоры усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G

##### 4.1. Многослойные адаптивные корректоры усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G

Многослойные модели, нелинейно зависящие от коэффициентов. Модель Винера и Гаммерштейна. Адаптация многослойных моделей методами стохастического градиентного спуска в реальном времени, методом градиентного спуска в блочном режиме, а также методом Ньютона. Введение в теорию нелинейной аппроксимации на основе нейронных сетей. Нейросетевые модели DPD с памятью. Адаптация нейронной сети методом обратного распространения ошибки. Построение нейронной сети в поле комплексных чисел. Проблемы адаптации нейросетевых структур. Обучение нейросети как невыпуклая задача оптимизации. Наличие локальных экстремумов при адаптации модели.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Многослойные корректоры выходного усилителя, нелинейно зависящие от коэффициентов модели;
2. Построение адаптивного нелинейного корректора усилителя мощности с линейной и нелинейной памятью;
3. Адаптация нелинейного корректора усилителя мощности без памяти. Оценка оптимальных коэффициентов корректора методами первого и второго порядка;
4. Линейная коррекция канала связи и компенсация квадратурного разбаланса модулятора и демодулятора базовой станции;
5. Численная стабилизация LS оценки коэффициентов адаптивного корректора методом регуляризации Тихонова и при использовании SVD разложения корреляционной матрицы;
6. Адаптация линейного корректора методами первого порядка: Стохастический градиентный спуск, градиентный спуск при блочной оценке;
7. Синхронизация сигналов в приемо-передающих трактов по времени, частоте, амплитуде и фазе для построения адаптивных корректоров;
8. Оценка статистических характеристик сигналов базовой станции 4G/5G.

### 3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

### 3.5 Консультации

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Теоретические основы адаптивной цифровой обработки сигналов в базовой станции 4G/5G"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Адаптация коэффициентов линейных цифровых корректоров аналоговых трактов базовой станции 4G/5G"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Введение в теорию адаптивной коррекции усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Многослойные адаптивные корректоры усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G"

### **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<br>(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 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Знать:</b>                                                                                                                        |                  |                                                   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| методы оценки оптимальных коэффициентов адаптивных фильтров, основанные на методах оптимизации первого и второго порядка             | ИД-1пк-1         |                                                   | + |   |   | Контрольная работа/Контрольная работа №2 по теме: Синхронизация сигналов приемо-передающих трактов по времени, частоте, амплитуде и фазе для построения адаптивных корректоров                                                                                                                                     |
| методы построения адаптивных идентификаторов линейных и нелинейных искажений аналоговых трактов радиоэлектронных систем и комплексов | ИД-1пк-1         |                                                   |   | + |   | Контрольная работа/Контрольная работа №3 по теме: Адаптивная линейная коррекция неравномерности приемо-передающих трактов базовой станции мобильной связи                                                                                                                                                          |
| методы предсказаний сигнала передатчика и посткоррекции аналогового тракта приемника                                                 | ИД-1пк-1         |                                                   |   |   | + | Контрольная работа/Контрольная работа №4 по теме: Адаптивная компенсация нелинейных искажений выходного усилителя базовой станции мобильной связи                                                                                                                                                                  |
| методы цифровой обработки сигналов для моделирования цифровой части приемопередающего тракта систем и комплексов связи 4G/5G         | ИД-1пк-1         | +                                                 |   |   |   | Контрольная работа/Контрольная работа №1 по теме: Оценка статистических характеристик сигналов базовой станции 4G/5G                                                                                                                                                                                               |
| <b>Уметь:</b>                                                                                                                        |                  |                                                   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| моделировать линейные и нелинейные искажения аналоговых трактов, а также структуры адаптивных корректоров                            | ИД-2пк-1         |                                                   |   | + | + | Контрольная работа/Контрольная работа №3 по теме: Адаптивная линейная коррекция неравномерности приемо-передающих трактов базовой станции мобильной связи<br><br>Контрольная работа/Контрольная работа №4 по теме: Адаптивная компенсация нелинейных искажений выходного усилителя базовой станции мобильной связи |
| использовать методы адаптации при построении корректоров аналоговых трактов                                                          | ИД-2пк-1         |                                                   | + |   |   | Контрольная работа/Контрольная работа №2 по теме: Синхронизация сигналов приемо-передающих трактов                                                                                                                                                                                                                 |

|               |  |  |  |  |  |                                                                             |
|---------------|--|--|--|--|--|-----------------------------------------------------------------------------|
| системы связи |  |  |  |  |  | по времени, частоте, амплитуде и фазе для построения адаптивных корректоров |
|---------------|--|--|--|--|--|-----------------------------------------------------------------------------|

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

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

**9 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1 по теме: Оценка статистических характеристик сигналов базовой станции 4G/5G (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №2 по теме: Синхронизация сигналов приемо-передающих трактов по времени, частоте, амплитуде и фазе для построения адаптивных корректоров (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №3 по теме: Адаптивная линейная коррекция неравномерности приемо-передающих трактов базовой станции мобильной связи (Контрольная работа)
4. Контрольная работа №4 по теме: Адаптивная компенсация нелинейных искажений выходного усилителя базовой станции мобильной связи (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Зачет с оценкой (Семестр №9)

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

В диплом выставляется оценка за 9 семестр.

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

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

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

1. Джиган, В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы / В. И. Джиган . – М. : Техносфера, 2013 . – 528 с. – (Мир цифровой обработки) . - ISBN 978-5-94836-342-4 .;
2. Уидроу, Б. Адаптивная обработка сигналов : пер. с англ. / Б. Уидроу, С. Стирнз . – М. : Радио и связь, 1989 . – 440 с.;
3. Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов : пер. с англ. / А. Оппенгейм, Р. Шафер . – 3-е изд., испр. . – М. : Техносфера, 2012 . – 1048 с. – (Мир радиоэлектроники) . - ISBN 978-5-94836-329-5 .;
4. О. Р. Ерзунов- "Линеаризация тракта усиления радиотехнических сигналов методом предискажений: выпускная квалификационная работа магистра", Рязань, 2017 - (73 с.) <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=463494>.

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

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Acrobat Reader;
4. Python;
5. GNU Octave.

### 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. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
5. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения                                                           | Номер аудитории, наименование                      | Оснащение                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | Ж-400/5, Лаборатория «Системы передачи информации» | стол преподавателя, стол, стул, шкаф для документов, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, указка, стенд лабораторный             |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | Ж-400/5, Лаборатория «Системы передачи информации» | стол преподавателя, стол, стул, шкаф для документов, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, указка, стенд лабораторный             |
|                                                                         | Ж-400д/10а, Учебная аудитория                      | парта со скамьей, стол преподавателя, стул, шкаф для одежды, доска меловая, кондиционер                                                            |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации               | А-210, Учебная аудитория "А"                       | парта, стул, стол письменный, доска меловая                                                                                                        |
| Помещения для самостоятельной работы                                    | НТБ-201, Компьютерный читальный зал                | стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер |
| Помещения для консультирования                                          | Ж-400/4, Кабинет сотрудников каф. "РТС"            | стол, стол компьютерный, стул, шкаф, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет                                                   |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря                | Ж-400/9, Прочее каф. "РТС"                         | стеллаж для хранения книг, стул, книги, учебники, пособия                                                                                          |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## 5G/4G обработка сигналов в базовых станциях

(название дисциплины)

## 9 семестр

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

- КМ-1 Контрольная работа №1 по теме: Оценка статистических характеристик сигналов базовой станции 4G/5G (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа №2 по теме: Синхронизация сигналов приемо-передающих трактов по времени, частоте, амплитуде и фазе для построения адаптивных корректоров (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа №3 по теме: Адаптивная линейная коррекция неравномерности приемо-передающих трактов базовой станции мобильной связи (Контрольная работа)
- КМ-4 Контрольная работа №4 по теме: Адаптивная компенсация нелинейных искажений выходного усилителя базовой станции мобильной связи (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины                                                                                   | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------|------|------|------|
|               |                                                                                                     | Неделя КМ: | 4    | 8    | 12   | 16   |
| 1             | Теоретические основы адаптивной цифровой обработки сигналов в базовой станции 4G/5G                 |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Теоретические основы адаптивной цифровой обработки сигналов в базовой станции 4G/5G                 |            | +    |      |      |      |
| 2             | Адаптация коэффициентов линейных цифровых корректоров аналоговых трактов базовой станции 4G/5G      |            |      |      |      |      |
| 2.1           | Адаптация коэффициентов линейных цифровых корректоров аналоговых трактов базовой станции 4G/5G      |            |      | +    |      |      |
| 3             | Введение в теорию адаптивной коррекции усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G |            |      |      |      |      |
| 3.1           | Введение в теорию адаптивной коррекции усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G |            |      |      | +    | +    |
| 4             | Многослойные адаптивные корректоры усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G     |            |      |      |      |      |
| 4.1           | Многослойные адаптивные корректоры усилителей мощности передающего тракта базовой станции 4G/5G     |            |      |      | +    | +    |
| Вес КМ, %:    |                                                                                                     |            | 25   | 25   | 25   | 25   |