

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

**Направление подготовки/специальность: 11.04.01 Радиотехника**

**Наименование образовательной программы: Радиотехнические методы и устройства формирования и обработки сигналов**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Радиотехнические системы передачи информации**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

А.Ю.

Сизякова

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

|  |  |                            |
|--|--|----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                            |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                            |
|  | Владелец   | Сафин А.Р.                 |
|  | Идентификатор                                      | Rdaf18b6c-SafinAR-8ed43814 |

(подпись)

А.Р. Сафин

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

|  |  |                            |
|--|--|----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                            |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                            |
|  | Владелец   | Сафин А.Р.                 |
|  | Идентификатор                                      | Rdaf18b6c-SafinAR-8ed43814 |

(подпись)

А.Р. Сафин

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ОПК-2 способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы

ИД-1 Применяет современные методы научного исследования и разработки радиотехнических устройств и систем

2. ОПК-4 способен разрабатывать и применять специализированное программно-математическое обеспечение для проведения исследований и решения инженерных задач

ИД-1 Знает методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации радиотехнических устройств и систем с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

1. Лабораторная работа "Методы формирования и демодуляции цифрового радиосигнала" (Лабораторная работа)

2. Лабораторная работа "Помехоустойчивое кодирование" (Лабораторная работа)

3. Лабораторная работа "Системы фазовой синхронизации в демодуляторе цифрового сигнала" (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа "Декодирование помехоустойчивого сверточного кода" (Контрольная работа)

2. Контрольная работа "Помехоустойчивость приема многопозиционного радиосигнала" (Контрольная работа)

3. Контрольная работа "Расчет характеристик помехоустойчивого кода" (Контрольная работа)

4. Контрольная работа "Спектральная эффективность многопозиционных радиосигналов" (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Задачи для самостоятельного решения (Решение задач)

## БРС дисциплины

3 семестр

| Раздел дисциплины | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                   | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 | КМ-8 |
|                   | Срок КМ:                        | 4    | 8    | 8    | 11   | 12   | 12   | 16   | 16   |
|                   |                                 |      |      |      |      |      |      |      |      |

|   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Помехоустойчивое кодирование                                      |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Помехоустойчивое кодирование                                      | +  | +  | +  |    |    |    |    | +  |
| Многопозиционные цифровые радиосигналы. Помехоустойчивость приема |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Многопозиционные цифровые радиосигналы. Помехоустойчивость приема |    |    |    | +  | +  | +  |    | +  |
| Синхронизация в приемнике цифрового сигнала: фазовая, временная   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Синхронизация в приемнике цифрового сигнала: фазовая, временная   |    |    |    |    |    |    | +  | +  |
| Вес КМ:   | 10 | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 20 |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

| Индекс компетенции | Индикатор   | Запланированные результаты обучения по дисциплине   | Контрольная точка  |
|--------------------|---|---|--|
| ОПК-2              | ИД-1 <sub>ОПК-2</sub> Применяет современные методы научного исследования и разработки радиотехнических устройств и систем | Уметь:<br>анализировать этапы совместной работы демодулятора цифрового сигнала и системы восстановления фазы несущей в схеме восстановления несущей<br>рассчитывать помехоустойчивость оптимального приема цифровых радиосигналов<br>рассчитывать вероятности ошибок на выходе декодеров помехоустойчивых кодов<br>рассчитывать спектральную эффективность цифровых радиосигналов<br>определять характеристики конкретного помехоустойчивого кода | Контрольная работа "Декодирование помехоустойчивого сверточного кода" (Контрольная работа)<br>Лабораторная работа "Помехоустойчивое кодирование" (Лабораторная работа)<br>Контрольная работа "Спектральная эффективность многопозиционных радиосигналов" (Контрольная работа)<br>Контрольная работа "Помехоустойчивость приема многопозиционного радиосигнала" (Контрольная работа)<br>Лабораторная работа "Системы фазовой синхронизации в демодуляторе цифрового сигнала" (Лабораторная работа)<br>Задачи для самостоятельного решения (Решение задач) |
| ОПК-4              | ИД-1 <sub>ОПК-4</sub> Знает методы расчета, проектирования,   | Знать:<br>показатели качества   | Контрольная работа "Расчет характеристик помехоустойчивого кода" (Контрольная работа)  |

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
|  | <p>конструирования и модернизации радиотехнических устройств и систем с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств</p> | <p>подсистемы модуляции принципы построения РСПИ и основные показатели качества их работы основные характеристики помехоустойчивых кодов алгоритмы работы оптимальных и квазиоптимальных приемников цифровых радиосигналов и их потенциальные характеристики понятие цифрового сигнала, параметры цифрового сигнала</p> | <p>Контрольная работа "Декодирование помехоустойчивого сверточного кода" (Контрольная работа)<br/> Лабораторная работа "Помехоустойчивое кодирование" (Лабораторная работа)<br/> Контрольная работа "Спектральная эффективность многопозиционных радиосигналов" (Контрольная работа)<br/> Контрольная работа "Помехоустойчивость приема многопозиционного радиосигнала" (Контрольная работа)<br/> Лабораторная работа "Методы формирования и демодуляции цифрового радиосигнала" (Лабораторная работа)</p> |
|--|---|---|--|

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Контрольная работа "Расчет характеристик помехоустойчивого кода"

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает письменное индивидуальное задание, на выполнение отводится 30 минут, сдает преподавателю в письменном виде

**Краткое содержание задания:**

Код  $(n, k)$  задан порождающей матрицей

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Определите параметры кода  $n, k$

Запишите в общем виде уравнения проверок

Рассчитайте минимальное кодовое расстояние и исправляющую способность кода. Ответ обоснуйте.

Запишите проверочную матрицу

Запишите столбец образующих элементов классов смежности и соответствующие каждому классу смежности векторы синдрома

Является ли этот код систематическим? Обоснуйте ответ.

Является ли этот код совершенным? Обоснуйте ответ.

**Контрольные вопросы/задания:**

|   |   |
|---|---|
| Знать: основные характеристики помехоустойчивых кодов | 1. По записи порождающей матрицы определите параметры кода<br>2. Запишите проверочную матрицу по известной порождающей<br>3. Обосновать, является ли этот код совершенным |
|---|---|

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если все задания выполнены в отведенное время без ошибок; допускается неточность при ответе на 1-2 вопросов задания

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если все задания выполнены с превышением отведенного времени не более 1 часа без ошибок. При выполнении задания в отведенное время допускается неточность при ответе не более, чем на 1-2 вопроса задания.

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание преимущественно выполнено; допускаются ошибки при ответе не более, чем на 3 вопроса задания.

## **КМ-2. Контрольная работа "Декодирование помехоустойчивого сверточного кода"**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает письменное индивидуальное задание, на выполнение отводится 45 минут, сдает преподавателю в письменном виде.

### **Краткое содержание задания:**

Задан сверточный кодер с векторами связи (5, 7). Постройте схему кодера. Рассчитайте свободное расстояние кода и его исправляющую способность.

Зарисуйте диаграмму состояния и решетчатую диаграмму кодера.

Выполните декодирование полученной последовательности  $\mathbf{r}$  по алгоритму Витерби с жесткими решениями.

$\mathbf{r} = 01\ 11\ 10\ 01\ 10\ 11\ 11\ 01\ 00\ 01\ 11\ 00\ 00\ \dots$

### **Контрольные вопросы/задания:**

|   |  |
|---|--|
| Знать: основные характеристики помехоустойчивых кодов                             | 1. Как определить исправляющую способность сверточного кода?<br>2. Что такое исправляющая способность помехоустойчивого кода?  |
| Уметь: определять характеристики конкретного помехоустойчивого кода               | 1. Запишите порождающие полиномы для кода (133,171)<br>2. Рассчитайте свободное расстояние кода (133,171) и его исправляющую способность<br>3. Зарисуйте диаграмму состояния и решетчатую диаграмму кодера (6,7) |
| Уметь: рассчитывать вероятности ошибок на выходе декодеров помехоустойчивых кодов | 1. Постройте схему кодера по векторам связи (133,171)  |

### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется, если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами в отведенное время.

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется, если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию.



### КМ-3. Лабораторная работа "Помехоустойчивое кодирование"

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** перед выполнением лабораторной работы проводится опрос по контрольным вопросам после выполнения лабораторной работы студент готовит сообщение по изученной теме с обоснованием тезисов сообщения результатами, полученными при выполнении лабораторной работы особое внимание уделяется связи вопросов теории с практическими результатами и обоснованию выводов по работе

#### Краткое содержание задания:

Соберите схему модели системы связи с кодеком и ДСК. Параметры элементов задайте в соответствии с табл 1. Установите параметры моделирования: частота дискретизации модели 50 Гц, длина реализации 41943,04 с (число точек моделирования 2097152)

Модель двоичного симметричного канала возьмите из домашней подготовки

Постройте процессы на выходе источника ПСП, на выходе буферного каскада, на выходе кодера, на выходе декодера. Занесите графики в отчет отметив, характерные особенности процессов (уровни, задержки, скорости передачи или длительности импульсов и другие)

Проведите моделирование при неискажающем канале. Определите, совпадают ли последовательности на выходе кодера и на входе декодера и на входе кодера и на выходе декодера

Задайте некоторую вероятность  $P_1^1$  ошибки в ДСК. Проведите моделирование при искажающем канале. Определите, совпадают ли последовательности на выходе кодера и на входе декодера и на входе кодера и на выходе декодера

Постройте схему автоматического подсчета ошибок на выходе декодера

Последовательно задавая различные значения вероятности ошибок в ДСК, постройте зависимость оценки вероятности ошибок на выходе декодера от вероятности ошибки в ДСК

Сделайте выводы по работе

#### Контрольные вопросы/задания:

|   |  |
|---|--|
| Знать: основные характеристики помехоустойчивых кодов               | 1.Каковы характеристики циклических кодов БЧХ  |
| Уметь: определять характеристики конкретного помехоустойчивого кода | 1.Рассчитайте задержку кодовой последовательности на выходе кодера<br>2.Рассчитайте задержку оценки информационной последовательности на выходе декодера по сравнению со входом кодера |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме и ответы на все вопросы преподавателя правильные

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если задание выполнено в полном объеме, и ответы на вопросы преподавателя в основном правильные

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание преимущественно выполнено и в ответах на вопросы преподавателя есть ошибки

#### КМ-4. Контрольная работа "Спектральная эффективность многопозиционных радиосигналов"

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает письменное индивидуальное задание, на выполнение отводится 30 минут, сдает преподавателю в письменном виде

#### Краткое содержание задания:

Постройте спектральную плотность мощности для цифровых сигналов  $M$ -ФМ: 2ФМ, Х-ФМ, ХХ-ФМ. Скорость двоичного потока  $R_b = XX$  кГц. Частота несущего колебания  $f_0 = XXX$  МГц. Выполните сравнительный анализ зависимостей

Зарисуйте сигнальные созвездия для цифровых сигналов  $M$ -ФМ ( $M = 2, X, XX$ ), для которых ... (приведено условие)

#### Контрольные вопросы/задания:

|  |   |
|--|---|
| Знать: показатели качества подсистемы модуляции                          | 1. По какой формуле рассчитывается спектральная плотность мощности для цифровых сигналов $M$ -ФМ<br>2. Зарисуйте схему модулятора сигнала ММС, зарисуйте реализации процессов в различных точках модулятора ММС   |
| Знать: понятие цифрового сигнала, параметры цифрового сигнала            | 1. Как выглядит сигнальное созвездие для сигналов $M$ -ФМ при разных значениях $M$ для ансамблей сигналов с одинаковой энергией<br>2. Как выглядит сигнальное созвездие для сигналов $M$ -ФМ при разных значениях $M$ для ансамблей сигналов с одинаковой мощностью и одинаковой скоростью битового потока<br>3. Запишите выражение для многопозиционного сигнала ФМ<br>4. Запишите выражение для многопозиционного сигнала ЧМ<br>5. Запишите выражение для сигнала ММС |
| Знать: принципы построения РСПИ и основные показатели качества их работы | 1. Как связаны ширина спектра сигналов $M$ -ФМ и скорость битового потока на входе модулятора<br>2. Какова связь ширины спектра сигналов $M$ -ФМ и скорости символического потока<br>3. Каков общий вид сигнального созвездия для сигналов $M$ -ФМ при разных значениях $M$   |
| Уметь: рассчитывать спектральную эффективность цифровых радиосигналов    | 1. Постройте зависимость спектральной плотности мощности для цифровых сигналов $M$ -ФМ при разных значениях $M$<br>2. Рассчитайте ширину спектра цифровых сигналов $M$ -ФМ при разных значениях $M$ при одинаковой  |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>скорости битового потока</p> <p>3. Рассчитайте ширину главного лепестка спектра цифровых сигналов М-ФМ при разных значениях М при одинаковой скорости символьного потока</p> <p>4. Рассчитайте ширину боковых лепестков спектра цифровых сигналов М-ФМ при разных значениях М при одинаковой скорости битового потока</p> <p>5. Определите расстояние между всеми точками сигнального созвездия для сигналов М-ФМ, М = 2, 4, 8, 16</p> |
|--|---|

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами в отведенное время

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

#### **КМ-5. Контрольная работа "Помехоустойчивость приема многопозиционного радиосигнала"**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает письменное индивидуальное задание, на выполнение отводится 30 минут, сдает преподавателю в письменном виде

#### **Краткое содержание задания:**

Определите вероятность битовой ошибки  $P_b$  при оптимальном приеме М-ФМ сигналов, если средняя мощность сигнала  $P_c = 10^{-12}$  Вт; спектральная плотность мощности белого шума  $N_0 = 10^{-19}$  Вт/Гц; ширина полосы частот  $\Delta f_c = 1$  МГц. Задачу решите для  $M = 2, 4, 8$ . Запишите выводы по результатам расчетов

Зарисуйте схему оптимального демодулятора сигналов 4ФМ

#### **Контрольные вопросы/задания:**

|   |  |
|---|--|
| Знать: показатели качества подсистемы модуляции                                   | <p>1. По какой формуле рассчитывается вероятность битовой ошибки при оптимальном приеме сигналов М-ФМ</p> <p>2. Как рассчитать вероятность битовой ошибки при оптимальном приеме сигналов 2-ФМ</p>   |
| Уметь: рассчитывать помехоустойчивость оптимального приема цифровых радиосигналов | <p>1. Рассчитайте вероятность символьной ошибки при оптимальном приеме сигналов 4ФМ</p> <p>2. Рассчитайте вероятность символьной ошибки при оптимальном приеме сигналов 8ФМ</p> <p>3. Рассчитайте вероятность битовой ошибки при оптимальном приеме сигналов 4ФМ</p> <p>4. Рассчитайте вероятность битовой ошибки при оптимальном приеме сигналов 8ФМ</p> <p>5. Рассчитайте вероятность битовой ошибки при</p> |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>оптимальном приеме сигналов 2ФМ</p> <p>6.Проведите сравнительный анализ результатов расчета вероятностей символьных ошибок для сигналов 4ФМ и 8ФМ в условиях задачи</p> <p>7.Проведите сравнительный анализ результатов расчета вероятностей битовых ошибок для сигналов 4ФМ и 8ФМ в условиях задачи</p> |
|--|---|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами, выполнено в отведенное время

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенное время или результат не соответствует заданию

**КМ-6. Лабораторная работа "Методы формирования и демодуляции цифрового радиосигнала"**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** перед выполнением лабораторной работы проводится опрос по контрольным вопросам после выполнения лабораторной работы студент готовит сообщение по изученной теме с обоснованием тезисов сообщения результатами, полученными при выполнении лабораторной работы особое внимание уделяется связи вопросов теории с практическими результатами и обоснованию выводов по работе

**Краткое содержание задания:**

1.Соберите схему модели РСПИ для сигнала ФМ4. Задайте параметры модели ( для опорного генератора в приемнике: частота 10 Гц; начальная фаза 0 град; для генераторов псевдослучайной последовательности частота 2 Гц; число уровней  $L = 2$ , СКО шума = 0,5

Проведите моделирование. В окне анализа постройте сигнальное созвездие для сигнала на выходе модулятора и на выходе демодулятора

Для построения сигнального созвездия на выходе демодулятора схему необходимо изменить, дополнив ее двумя дециматорами и дополнительными осциллографами

Пронаблюдайте, как изменяется сигнальное созвездие при наличии шума и при расфазировании ( $\Delta\phi = \text{var}$ ) генераторов передатчика и приемника. Зарисуйте качественные изменения в протокол наблюдений

В окне анализа постройте глаз-диаграмму для сигнала на выходе демодулятора

Постройте зависимость величины раскрыва глаза от СКО шума

Постройте зависимость величины раскрыва глаза от разности фаз  $\Delta\phi$  генераторов передатчика и приемника

Постройте диаграммы обмена Укажите на графике, для какого значения раскрыва построена диаграмма. Оцените проигрыш в отношении сигнал/шум, к которому приводит ошибка по фазе  $\Delta\phi_{\text{макс}}$

2. Соберите схему модели РСПИ для сигнала АФМ16. Задайте начальные параметры для моделирования

Проведите моделирование. В окне анализа постройте сигнальное созвездие для сигнала на выходе модулятора и на выходе демодулятора  
 Пронаблюдайте, как изменяется сигнальное созвездие при наличии шума и при расфазировании ( $\Delta\varphi = \text{var}$ ) генераторов передатчика и приемника. Зарисуйте качественные изменения в протокол наблюдений  
 В окне анализа постройте глаз-диаграмму для сигнала на выходе демодулятора  
 Постройте зависимость величины раскрытия глаза от СКО шума  
 Постройте зависимость величины раскрытия глаза от разности фаз  $\Delta\varphi$  генераторов передатчика и приемника  
 Постройте диаграммы обмена СКО шума и разности фаз  $\Delta\varphi$ . Укажите на графике, для какого значения раскрытия построена диаграмма. Оцените проигрыш в отношении сигнал/шум, к которому приводит ошибка по фазе  $\Delta\varphi_{\text{макс}}$

### Контрольные вопросы/задания:

|   |   |
|---|---|
| <p>Знать: алгоритмы работы оптимальных и квазиоптимальных приемников цифровых радиосигналов и их потенциальные характеристики</p> | <p>1.Методы цифровой модуляции без памяти: амплитудная модуляция, частотная модуляция (ЧМ2), фазовая манипуляция (М-ФМ). Аналитическая запись, сигнальное созвездие, диаграммы фазовых переходов, спектр сигналов<br/>         2.Методы цифровой модуляции без памяти: амплитудная модуляция, частотная модуляция (ЧМ2), фазовая манипуляция (М-ФМ). Схемы модуляторов и оптимальных и квазиоптимальных демодуляторов<br/>         3.Методы цифровой модуляции с памятью: ОФМ2, ММС. Аналитическая запись, сигнальное созвездие, диаграммы фазовых переходов, спектр сигналов<br/>         4.Методы цифровой модуляции с памятью: ОФМ2, ММС. Схемы модуляторов и оптимальных и квазиоптимальных демодуляторов<br/>         5.Методы цифровой модуляции с памятью: ОФМ2, ММС. Помехоустойчивость приема сигналов</p> |
|---|---|

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме и ответы на все вопросы преподавателя правильные*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, и ответы на вопросы преподавателя в основном правильные*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание преимущественно выполнено и в ответах на вопросы преподавателя есть ошибки*

## КМ-7. Лабораторная работа "Системы фазовой синхронизации в демодуляторе цифрового сигнала"

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** перед выполнением лабораторной работы проводится опрос по контрольным вопросам после выполнения лабораторной работы студент готовит сообщение по изученной теме с обоснованием тезисов сообщения результатами, полученными при выполнении лабораторной работы особое внимание уделяется связи вопросов теории с практическими результатами и обоснованию выводов по работе

### Краткое содержание задания:

Загрузите схему модели системы связи со схемой СВН в составе демодулятора

Проверьте установленные параметры моделирования

Проведите моделирование

Рассмотрите и поясните переходные процессы на выходе каждого блока модели схемы

Убедитесь в том, что по завершении переходных процессов в СВН цифровые последовательности на входе (элемент 1) и на выходе (элемент 20) канала связи совпадают

Определите длительность переходных процессов

Повторите моделирование для различных значений начальной фазы несущего колебания. Постройте зависимость длительности переходного процесса в СВН от начального расфазирования

Пронаблюдайте эпюры напряжения на выходе демодулятора при обратной работе СВН

Установите частоту сигнала 1001 Гц. Проведите моделирование для немодулированного сигнала

Определите, как изменится частота ГУН после окончания переходного процесса в СВН.

Запишите, какова длительность переходного процесса в СВН

Измените усиление в блоке 15:  $Gain = 2$ . Повторите моделирование. Проанализируйте эпюры напряжения в различных точках схемы. Сравните характеристики в СВН при  $Gain = 2$  и  $Gain = 1$

Установите частоту сигнала 1001 Гц. Проведите моделирование для модулированного сигнала

Определите, как изменится частота ГУН после окончания переходного процесса в СВН.

Запишите, какова длительность переходного процесса в СВН

Измените усиление в блоке 15:  $Gain = 2$ . Повторите моделирование. Проанализируйте эпюры напряжения в различных точках схемы. Сравните характеристики в СВН при  $Gain = 2$  и  $Gain = 1$

Установите частоту сигнала ФМ2, равную 1002 Гц. Проведите моделирование.

Определите, как изменится частота ГУН после окончания переходного процесса в СВН.

Запишите длительность переходного процесса в СВН

Постройте зависимость полосы захвата СВН от коэффициента усиления блока 15  $Gain$  при ограничении на время захвата 10 с

Сделайте выводы по зависимостям, полученным при выполнении лабораторного задания

### Контрольные вопросы/задания:

|  |   |
|--|---|
| Уметь: анализировать этапы совместной работы демодулятора сигнала и цифровой системы | 1.Зарисуйте переходный процесс на выходе фазового дискриминатора СВН при постоянном расфазировании колебаний сигнала и ГУН<br>2.Проведите анализ работы СВН при различных |
|--|---|

|  |  |
|--|--|
| восстановления фазы несущей в схеме восстановления несущей | значениях постоянного расфазирования колебаний сигнала и ГУН<br>3.Зарисуйте переходный процесс на выходе фазового дискриминатора СВН при постоянной разности частот колебаний сигнала и ГУН<br>4.Приведите ожидаемый вид зависимости полосы захвата СВН от коэффициента петлевого усиления СВН |
|--|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме и ответы на все вопросы преподавателя правильные*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, и ответы на вопросы преподавателя в основном правильные*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание преимущественно выполнено и в ответах на вопросы преподавателя есть ошибки*

**КМ-8. Задачи для самостоятельного решения**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Решение задач

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам выдаются задания, которые надо выполнить и сдать на проверку в письменном виде в течение 1-2 недель после получения

**Краткое содержание задания:**

**1 Рассмотрим линейный блочный код (127,92), который может исправить трехбитовые ошибки**

Чему равна вероятность ошибки в сообщении для некодированного блока из 92-х бит, если вероятность ошибки в канальном бите равна 0,001?

Чему равна вероятность ошибки в сообщении, кодированном блочным кодом (127, 92), если вероятность ошибки в канальном бите равна 0,001 ?

Проведите сравнительный анализ полученного результата

**2 Рассмотрим линейный блочный код Голея (24, 12) с возможностью исправления двухбитовых ошибок**

Пусть используется модуляция BFSK (2ЧМ), на входе приемника  $E_b/N_0 = 14$  дБ

Дает ли код какое-либо уменьшение вероятности ошибки в сообщении? Если да, то насколько? Если нет, то почему

Как изменится вывод, если  $E_b/N_0 = 10$  дБ

**3 Рассмотрим сверточный кодер, показанный на рисунке**

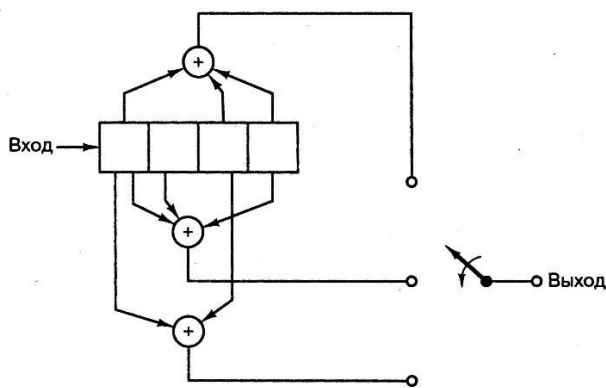


Рис. 37.6

- Запишите векторы связи и полиномы связи для этого кодера
- Запишите все **состояния** кодера
- Запишите импульсную реакцию на выходе кодера

**4** Пусть кодовые слова в схеме кодирования имеют следующий вид

$$a = 000000$$

$$b = 101010$$

$$c = 010101$$

$$d = 111111$$

Если по двоичному симметричному каналу принимается последовательность 1 1 1 0 1 0 и при этом осуществляется декодирование по критерию максимального правдоподобия, то каким будет декодированный символ?

**5** Постройте решетку для кодера (7,5). Декодируйте последовательность  $Z = (01\ 11\ 00\ 01\ 11)$ , остальные все "0"), считая, что используется жесткая схема принятия решений и алгоритм декодирования Витерби

**6** В когерентной системе используется цифровой сигнал 16ФМ. При присвоении символам битовых комбинаций используется код Грея. Средняя вероятность символьной ошибки  $P_E \approx 10^{-5}$ . Определите среднюю вероятность битовой ошибки

**7** Решите предыдущую задачу для ортогональной модуляции 16ЧМ

**8** В системе передачи используется дифференциальная модуляция 8ФМ. Сигнал принимается на фоне АБГШ при  $E_b/N_0 = 10$  дБ. Передаваемые символы (сигналы) равновероятны. Определите среднюю вероятность символьной ошибки на выходе когерентного демодулятора

9 Постройте дискриминационную характеристику ФД для синфазно-квадратурного ФД в схеме СВН для сигнала 2ФМ. Отметьте точки устойчивого равновесия

10 Постройте дискриминационную характеристику ФД для синфазно-квадратурного ФД в схеме СВН для сигнала 4ФМ. Поясните процесс установления режима слежения при воздействии по фазе, описываемом полиномом нулевого порядка

### Контрольные вопросы/задания:

|  |  |
|--|--|
| Уметь: анализировать этапы совместной работы демодулятора цифрового сигнала и системы восстановления фазы несущей в схеме восстановления несущей | <ol style="list-style-type: none"> <li>Постройте дискриминационную характеристику ФД для синфазно-квадратурного ФД в схеме СВН для сигнала 2ФМ</li> <li>Зарисуйте дискриминационную характеристику ФД для синфазно-квадратурного ФД в схеме СВН для сигнала 4ФМ</li> </ol> |
| Уметь: рассчитывать вероятности ошибок на выходе декодеров помехоустойчивых кодов  | <ol style="list-style-type: none"> <li>Рассчитайте вероятность ошибки в сообщении для некодированного блока из 92-х бит, если вероятность ошибки в канальном бите равна 0,001</li> <li>Рассчитайте вероятность ошибки в сообщении,</li> </ol>                              |



|  |   |
|--|---|
|  | <p>кодированном блочным кодом (127, 92), если вероятность ошибки в канальном бите равна 0,001</p> <p>3. Рассчитайте исправляющую способность для кода (127,92)</p>  |
| <p>Уметь: рассчитывать помехоустойчивость оптимального приема цифровых радиосигналов</p> | <p>1. Определите среднюю вероятность битовой ошибки на выходе демодулятора сигнала 16ФМ. Средняя вероятность символьной ошибки <math>P_E \approx 10^{-5}</math></p> <p>2. Определите среднюю вероятность символьной ошибки на выходе когерентного демодулятора сигнала 8ФМ с дифференциальной модуляцией при <math>E_b/N_0 = 10</math> дБ</p> |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами в отведенное время

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

|   |  |                   |
|---|--|-------------------|
|   | Экзаменационный билет № 00                         | Утверждаю:        |
| НИУ «МЭИ»   | Кафедра радиотехнических систем ИРЭ                | Зав. кафедрой РТС |
|   | Дисциплина <i>Радиосистемы передачи информации</i> | Р.С. Куликов      |
| <p>1. Многопозиционные сигналы. Сигналы 4ФМ и 8ФМ. Аналитическая запись ансамблей сигналов, сигнальные созвездия. Эпюры напряжения. Спектр сигнала. Схемы формирования и демодуляции. Потенциальная помехоустойчивость приема. При каком соотношении энергий и мощностей сигналов помехоустойчивость приема сигналов 8 ФМ и 4ФМ будет одинакова?</p> <p>2. Помехоустойчивое кодирование. Сверточные коды и их основные характеристики. Достоинства и недостатки сверточных кодов. Для сверточного кодера (1010), (1011) зарисуйте схему кодера, найдите импульсную реакцию на выходе кодера. Рассчитайте исправляющую способность кода. Определите, как изменится скорость передачи данных в дискретном канале без памяти на выходе кодера по сравнению с его входом.</p> |  |                   |

## Процедура проведения

Студент получает индивидуальный билет, готовится к ответу в течение не менее 60 минут. Ответ преподавателю проходит в устной форме. Студент рассказывает подготовленный материал по вопросам билета. Студенту задают дополнительные вопросы по вопросам билета и разделам дисциплины. На основании ответа студента формируется экзаменационная составляющая оценки.

## I. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ОПК-2</sub> Применяет современные методы научного исследования и разработки радиотехнических устройств и систем

### Вопросы, задания

1. Помехоустойчивое кодирование. Достоинства и недостатки кодирования. Пропускная способность канала. Двоичный симметричный канал
2. Рассмотрим линейный блочный код Голея (24, 12) с возможностью исправления двухбитовых ошибок. Пусть используется модуляция BFSK (2ЧМ), на входе приемника  $E_b/N_0 = 14$  дБ. Рассчитайте среднюю вероятность битовой ошибки
3. Постройте решетку для кодера (7,5). Декодируйте последовательность  $Z = (01\ 11\ 00\ 01\ 11, \text{ остальные все "0"})$ , считая, что используется жесткая схема принятия решений и алгоритм декодирования Витерби
4. В когерентной системе используется цифровой сигнал 16ФМ. При присвоении символам битовых комбинаций используется код Грея. Средняя вероятность символьной ошибки  $P_E \approx 10^{-5}$ . Рассчитайте среднюю вероятность битовой ошибки

5. В когерентной системе используется цифровая ортогональная модуляция 16ЧМ. При присвоении символам битовых комбинаций используется код Грея. Средняя вероятность символьной ошибки  $P_E \approx 10^{-5}$ . Рассчитайте среднюю вероятность битовой ошибки.

6. В системе передачи используется модуляция 8ФМ. Сигнал принимается на фоне АБГШ при  $E_b/N_0 = 10$  дБ. Передаваемые символы (сигналы) равновероятны.

Определите среднюю вероятность символьной и битовой ошибок на выходе когерентного демодулятора

7. Какие системы автоматизированного проектирования и компьютерные пакеты Вы использовали для расчета параметров и для модернизации радиотехнических устройств и систем?

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Для линейного систематического блокового кода с проверками

$$\begin{aligned} u_5 &= u_1 + u_2 + u_3 \\ u_6 &= u_2 + u_3 + u_4 \\ u_7 &= u_1 + u_2 + u_4 \end{aligned}$$

определите параметры кода  $n$  и  $k$ .

Ответы:

- а)  $n = 8$
- б)  $k = 7$
- в)  $n = 4$
- г)  $k = 3$
- д)  $n = 7$
- е)  $k = 4$

Верный ответ: д) и е)

2. Для линейного систематического блокового кода с проверками

$$\begin{aligned} u_5 &= u_1 + u_2 + u_3; \\ u_6 &= u_2 + u_3 + u_4; \\ u_7 &= u_1 + u_2 + u_4 \end{aligned}$$

определите исправляющую способность кода.

Ответы:

Для ответа на вопрос надо записать все кодовые слова, их количество = 16. Для каждого кодового слова рассчитать вес Хемминга, отбросить вес, равный нулю. Определить минимальный (ненулевой) вес - это и есть кодовое расстояние  $d_{\min}$ . Исправляющая способность кода рассчитывается как БЛИЖАЙШЕЕ ЦЕЛОЕ к  $(d_{\min} - 1)/2$ , не превосходящее частное (само число)

Верный ответ: Исправляющая способность кода (7, 4) равна 1

3. Какова ширина (по уровню -3дБ) главного лепестка спектра сигналов М-ФМ (огибающая радиоимпульсов - прямоугольной формы) при фиксированной скорости битового потока  $R_b$ ?  $M = 2, 4$

Ответы:

- а)  $M = 2$  Ширина =  $R_b$  б)  $M = 2$  Ширина =  $R_b/2$  в)  $M = 4$  Ширина =  $R_b$  г)  $M = 4$  Ширина =  $R_b/2$

Верный ответ: а) и г)

4. Принятое колебание должно использоваться в двух различных схемах передачи сигналов: а) 2ФМ; б) 4ФМ. Скорость передачи неизменна и равна 10 бит/с. Определите

отношение  $\frac{E_b}{N_0}$  (в дБ) для каждого случая, если принятый сигнал  $s_i^i(t), B =$

$0,005 \sin(2 \cdot 10 \cdot \pi t + \psi_i^i)$ , а измеренная в приемнике мощность шума (в полосе сигнала) равна  $P_{\text{ш}} = 2,5 \cdot 10$  Вт

Ответы:

а) 2ФМ отношение 27 дБ б) 2ФМ отношение 24 дБ в) 4ФМ отношение 24 дБ г) 4ФМ отношение 27 дБ д) 2ФМ отношение 30 дБ

Верный ответ: а) в)

5. Определите среднюю вероятность ошибки  $P_b$  при оптимальном приеме сигналов ФМ2 противоположных, если средняя мощность сигнала  $P_c^c = 10$  Вт, длительность сигнала  $T_{ДВ} = 2,5$  мкс. Спектральная плотность шума  $N_0^0 = 2,5 \cdot 10$  Вт/Гц

Ответы:

а)  $P_b = 4,1 \cdot 10^{-6}$

б)  $P_b = 4,1 \cdot 10^{-5}$

в)  $P_b = 2,9 \cdot 10^{-7}$

г)  $P_b = 5,3 \cdot 10^{-6}$

д)  $P_b = 1,04 \cdot 10^{-5}$

Верный ответ: а)

6. Какова ширина (по уровню -3дБ) главного лепестка спектра сигналов М-ФМ (оггибающая радиоимпульсов - прямоугольной формы) при фиксированной скорости битового потока  $R_b$ ?  $M = 2, 8$

Ответы:

а)  $M = 2$  Ширина =  $R_b$  б)  $M = 2$  Ширина =  $R_b/2$  в)  $M = 8$  Ширина =  $R_b$  г)  $M = 8$  Ширина =  $R_b/2$  д)  $M = 8$  Ширина =  $R_b/3$  е)  $M = 2$  Ширина =  $R_b/3$

Верный ответ: а) д)

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ОПК-4</sub> Знает методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации радиотехнических устройств и систем с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств

### Вопросы, задания

1. Общие понятия о передаче информации. Обобщенная (наиболее полная) структурная схема системы связи. Показатели качества передачи информации

2. Методы цифровой модуляции без памяти: амплитудная модуляция, частотная модуляция (ЧМ2), фазовая манипуляция (М-ФМ). Аналитическая запись, сигнальное созвездие, диаграммы фазовых переходов, спектр сигналов, схемы модуляторов и демодуляторов, помехоустойчивость приема сигналов. Сравнительный анализ этих характеристик для различных сигналов

3. Характеристики качества оптимального приема сигналов с цифровой модуляцией. Символьные и битовые ошибки для сигналов без памяти М-ФМ, 2ЧМ, М-КАМ, сигналов с памятью ОФМ2, 4ФМС, ММС

4. Методы и устройства синхронизации параметров опорного сигнала демодулятора. Схемы восстановления несущей для сигналов 2ФМ и 4ФМ. Влияние ошибок при работе СВН на показатели качества демодулятора радиосигнала

5. Совместная работа демодуляторов сигналов 2ФМ или 4ФМ со схемой восстановления несущей. Ошибки демодуляции в отсутствие шума при восстановлении фазы ОГ с использованием СВН. Логика совместной работы демодулятора и СВН. Влияние ошибок при работе СВН на показатели качества демодулятора радиосигнала

6. Системы тактовой синхронизации СТС (разомкнутые и замкнутые). Ошибки демодуляции в отсутствие шума при восстановлении тактовой последовательности в СТС. Логика совместной работы демодулятора, СВН и СТС (на примере сигнала 2ФМ). Влияние ошибок при работе СТС на показатели качества демодулятора радиосигнала

7. Блочные коды. Основные характеристики этих кодов. Способы задания кода. Порождающая матрица. Проверочная матрица. Синдром для блочных кодов. Матрица

декодирования (нормальная матрица). Кодовое расстояние. Исправляющая способность кода. Циклические коды  
8. Помехоустойчивые коды. Символьная и битовая ошибки. Расчет вероятностей ошибок. Сравнение вероятностей ошибок на выходе демодулятора и на выходе декодера  
9. Какие Вы знаете методы модернизации радиотехнических устройств и систем с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств?

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какие виды помехоустойчивых кодов Вы знаете?

Ответы:

- а) блоковые
- б) сверточные
- в) циклические
- г) каскадные
- д) турбо-коды

Верный ответ: все ответы правильные

2. Каковы виды цифровых сигналов, при демодуляции которых можно использовать когерентные методы

Ответы:

- а) 2ФМ б) 2ЧМ в) 4ФМ г) 4ФМС д) 8ФМ е) 16 КАМ ж) ММС з) ОФМ2 и) OFDM

Верный ответ: все

3. Назовите виды цифровых сигналов, при демодуляции которых можно использовать некогерентные методы

Ответы:

- а) 2ФМ б) 2ЧМ в) 4ФМ г) 4ФМС д) 8ФМ е) 16 КАМ ж) ММС з) ОФМ2

Верный ответ: б) ж) з)

4. Укажите виды цифровых сигналов, при демодуляции которых используются когерентные методы и не используются некогерентные методы

Ответы:

- а) 2ФМ б) 4ФМ в) 8ФМ г) М-КАМ д) ММС е) ОФМ-2 ж) ОФМ-8 з) ЧМ-2

Верный ответ: а) б) в) г)

5. Можно ли использовать “обычную” систему ФАП для фазирования опорного колебания демодулятора?

Ответы:

- а) Да б) Нет

Верный ответ: а)

6. Выберите правильное название для схемы, которая используется для фазирования опорного генератора демодулятора цифрового сигнала

Ответы:

- а) СВН б) СТС в) ФАП г) ФАПЧ д) ММС е) КАМ

Верный ответ: а)

7. Выберите правильное название для схемы, которая используется для формирования выборок отсчетов корреляционного интеграла в демодуляторе цифрового сигнала

Ответы:

- а) СВН б) СТС в) ФАП г) ФАПЧ д) ММС е) КАМ ж) нет правильного ответа

Верный ответ: б)

## II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему задачу, который показал при ответе на вопросы экзаменационного

билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему задачу и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил задачу из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

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