

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации (РЗИ)

## **Акустика**

Методические указания по практическим занятиям и самостоятельной работе  
для специальности 210312 «Аудиовизуальная техника»

Разработчик:  
доцент каф. РЗИ, к.т.н.  
\_\_\_\_\_ Э.В. Семенов

# Содержание

1. Контрольные работы	3
1.1 Звуковое поле, методы анализа его структуры	3
1.2 Реверберация	3
1.3 Восприятие	5
1.4 Микрофоны и головные телефоны	5
1.6 Громкоговорители	6
1.7. Акустические оформления громкоговорителей	6
1.8 Многополосные громкоговорители	7
2 Задачи	8
2.1 Звуковое поле	8
2.2 Реверберация	8
2.3 Микрофоны	8
2.4 Головные телефоны	8
2.5 Громкоговорители	9
2.6 Акустические оформления громкоговорителей	9

# 1 Контрольные работы

## 1.1 Звуковое поле, методы анализа его структуры

### Вариант 1

1. Классификация звуков по периодичности.
2. Что такое звуковой луч? Что волновой фронт?
3. Уравнение движения среды.
4. Какая волна называется сферической? Как зависит звуковое давление от расстояния для сферической волны?
5. Что такое соколеблющаяся масса, когда она возникает и чему физически соответствует?

### Вариант 2

1. Каковы основные слышимые свойства звука?
2. Классификация звуковых волн по направлению смещения частиц относительно луча.
3. Охарактеризуйте плоскую волну.
4. Как зависит колебательная скорость от расстояния в сферической волне?
5. Вектор Умова: что характеризует и как вычисляется?

### Вариант 3

1. Что такое тон? Что такое обертон?
2. Формула вычисления скорости звука в зависимости от температуры при нормальных атмосферных условиях.
3. Удельное акустическое сопротивление среды: формула, величина для нормальных атмосферных условий.
4. Зависит ли колебательная скорость в сферической волне от частоты при частотно-независимом звуковом давлении и если да, то как?
5. Что такое интенсивность звука и как вычисляется?

### Вариант 4

1. Что такое форманта? Основные фазы музыкального звука и их роль.
2. Что такое звуковое давление? Что такое колебательная скорость и от чего она зависит?
3. Как связаны звуковое давление и колебательная скорость в плоской волне?
4. Как связаны колебательная скорость и звуковое давление в сферической волне?
5. Что такое и как вычисляется плотность энергии?

## 1.2 Реверберация

### Вариант 1

1. Что такое реверберация? Какую энергетическую характеристику удобнее применять для описания многолучевого поля.
2. Как зависит плотность спектра собственных частот от частоты и как это отражается на звучании электроакустических систем в помещении?
3. Что такое фонд звукопоглощения? Что такое средний коэффициент звукопоглощения?
4. От чего и как зависит скорость изменения плотности энергии диффузного поля при включении и выключении источника?

5. Что такое эквивалентное время реверберации, от чего и как она зависит?
6. Расположите в порядке убывания предпочтительности способы размещения звукопоглощающего материала по поверхности помещения:
  - равномерное
  - за исполнителем;
  - за слушателем.

Обоснуйте ответ.

### **Вариант 2**

1. Как изменится ощущение реверберации по сравнению с натуральным прослушиванием, если фонограмма записана ненаправленным микрофоном, размещенном на месте слушателя и почему?
2. Какое поле называется изотропным? Какое поле называется однородным?
3. Что такое средняя длина и среднее время пробега звуковой волны? Как связан реверберационный коэффициент звукопоглощения с «обычным» коэффициентом звукопоглощения?
4. Что такое стандартное время реверберации, от чего и как оно зависит?
5. Что такое процентная артикуляция и как она зависит от времени реверберации?
6. Приведите классификацию звукопоглощающих материалов и конструкций и приведите примеры для каждого раздела классификации.

### **Вариант 3**

1. Классификация подходов к описанию реверберационного процесса.
2. Какое поле называется диффузным? Что такое индекс диффузности?
3. Какова качественно зависимость плотности энергии диффузного реверберационного поля от времени после включения и после выключения источника? Как взаимосвязаны скорости нарастания и спада звуковой энергии в помещении?
4. Что такое акустическое отношение, от чего и как оно зависит?
5. Какие поверхности, выпуклые или вогнутые, недопустимы с точки зрения хорошей акустики и почему?
6. В каком диапазоне частот сосредоточено звукопоглощение для пористых поглотителей? В каком диапазоне частот сосредоточено звукопоглощение мембранных поглотителей?

### **Вариант 4**

1. Что такое собственная частота помещения? Что такое спектр собственных частот? Что такое плотность спектра собственных частот?
2. Что такое коэффициент звукопоглощения для диффузного поля?
3. От чего и как зависит установившаяся плотность энергии в помещении?
4. Что такое радиус гулкости, от чего и как он зависит?
5. Расположите конфигурации помещения в порядке убывания акустической предпочтительности:
  - параллелепипед;
  - куб;
  - сфера;
  - помещение с непараллельными и криволинейными поверхностями.

Обоснуйте ответ.

4. Какую частотную характеристику поглощения имеют перфорированные резонансные поглотители?

### **1.3 Восприятие**

#### **Вариант 1**

1. Строение уха.
2. Что такое дифференциальный порог по уровню громкости и чему он равен.
3. Перечислите механизмы угловой локализации.
4. Порог. Маскировка и демаскировка

#### **Вариант 2**

1. Работа улитки вообще и кортиева органа в частности.
2. Классификация уровней. Почему для акустических уровней не указывают физический параметр, по которому он измерен?
3. Что такое, и чему равно временное окно слухового анализатора?
4. Перечислите признаки, на которые можно опираться при определении дальности.

#### **Вариант 3**

1. Кодирование сигналов в нервной системе с отдельных участков кортиева органа.
2. Что такое и в чем измеряется уровень громкости.
3. Что такое закон первой волны.
4. Каков основной механизм локализации по азимуту и как он действует?

#### **Вариант 4**

1. Частотная группа слуха.
2. В чем измеряется субъективная громкость и как она связана с уровнем громкости?
3. В чем измеряется субъективная высота и как она связана с частотой сигнала?
4. Способы локализации по углу места.

### **1.4 Микрофоны и головные телефоны**

#### **Вариант 1**

1. Электромеханический преобразователь как четырехполюсник.
2. Формула зависимости чувствительности катушечных микрофонов от частоты.
3. Закрытые электродинамические телефоны: механическая схема, электрический аналог, зависимость звукового давления от частоты (формула и график).

#### **Вариант 2**

1. Метод электромеханических аналогий.
2. Открытые давления головные телефоны: механическая схема, электрическая эквивалентная схема, зависимость звукового давления от частоты (формула и график).
3. Электростатические закрытые телефоны: механическая схема, электрическая эквивалентная схема, зависимость звукового давления от частоты (формула и график).

#### **Вариант 3**

1. Формула зависимости чувствительности ленточных микрофонов от частоты. Условие равномерной АЧХ.

2. Открытые телефоны: механическая схема, электрическая эквивалентная схема, зависимость звукового давления от частоты (формула и график).
3. Коэффициент электромеханической связи для электростатических телефонов .

#### **Вариант 4**

1. Виды микрофонов по характеристикам направленности. Формула чувствительности.
2. Формула зависимости чувствительности конденсаторных микрофонов от частоты. Условие равномерной АЧХ.
3. Закрытые телефоны: механическая схема, электрический аналог, зависимость звукового давления от частоты (формула и график).

### **1.6 Громкоговорители**

#### **Вариант 1**

1. Классификация головок громкоговорителя по полосе воспроизводимых частот.
2. Классификация электродинамических громкоговорителей по форме диффузора.
3. Электродинамические громкоговорители с распределенной катушкой (магнепланарные): конструкция, преимущества и недостатки.

#### **Вариант 2**

1. Классификация головок громкоговорителя по принципу действия.
2. Купольные громкоговорители: конструкция, преимущества и недостатки.
3. Излучатель Хейла: идея, принцип действия, конструкция, преимущества и недостатки.

#### **Вариант 3**

1. Электростатические громкоговорители: конструкция, преимущества и недостатки, способы расширения диаграммы направленности электростатических громкоговорителей.
2. Конструкция электромагнитных громкоговорителей.
3. Конусные громкоговорители: конструкция, преимущества и недостатки.

#### **Вариант 4**

1. Конструкция излучателей с наведенным током.
2. Фазовыравниватель (рассекатель): как размещается, варианты формы.
3. Ионные излучатели: конструкция, принцип действия, преимущества и недостатки.

### **1.7. Акустические оформления громкоговорителей**

#### **Вариант 1**

1. Что такое и из чего состоит акустическая система?
2. На какое сопротивление излучения оказывается нагружена головка громкоговорителя в акустическом оформлении «бесконечный экран» (формула и комментарии к ней)?

3. От чего и как зависит чувствительность громкоговорителя.
4. Конструкция акустического оформления «закрытый ящик». Механическая схема громкоговорителя с акустическим оформлением «закрытый ящик». Электрическая эквивалентная схема громкоговорителя с акустическим оформлением «закрытый ящик».

#### **Вариант 2**

1. Что такое и к чему приводит акустическое короткое замыкание?
2. Почему сопротивление излучения для головки громкоговорителя в бесконечном экране такое же, как для пульсирующей сферы?
3. Что такое и как определяется добротность громкоговорителя? На какие особенности амплитудно-частотной характеристики влияет добротность громкоговорителя? Какая величина добротности громкоговорителя является оптимальной?
4. Амплитудно-частотная характеристика громкоговорителя в акустическом оформлении «закрытый ящик» и ее отличие от АЧХ громкоговорителя в бесконечном экране. Как изменится амплитудно-частотная характеристика громкоговорителя в акустическом оформлении «закрытый ящик» при уменьшении объема ящика.

#### **Вариант 3**

1. Задачи, решаемые акустическим оформлением громкоговорителя.
2. Механическая схема громкоговорителя с акустическим оформлением «бесконечный экран». Электрическая эквивалентная схема громкоговорителя с акустическим оформлением «бесконечный экран».
3. Что такое и какими способами осуществляется демпфирование? Как влияет сопротивление источника сигнала на демпфирование громкоговорителя?
4. Конструкция акустического фазоинверсного акустического оформления.

#### **Вариант 4**

1. Конструкция акустического оформления «бесконечный экран».
2. Зависимость мощности, излучаемой громкоговорителем от частоты (формула и график). Какой будет эта зависимость для электродинамического громкоговорителя? для электростатического громкоговорителя?
3. Разновидности конструкции акустического оформления «экран конечных размеров». Амплитудно-частотная характеристика громкоговорителя в акустическом оформлении «экран конечных размеров».
4. Механическая схема фазоинверсного акустического оформления. Электрическая эквивалентная схема фазоинверсного акустического оформления.

### **1.8 Многополосные громкоговорители**

#### **Вариант 1**

1. Пассивные многополосные акустические системы.
2. Кроссоверы постоянного сопротивления.

#### **Вариант 2**

1. Активные многополосные акустические системы.
2. Кроссоверы всепропускающего типа.

## 2 Задачи

### 2.1 Звуковое поле

1. Эффективное значение звукового давления в плоской волне частотой 500 Гц 5 Па. Определить амплитуду смещения частиц воздуха.
2. Эффективное звуковое давление в плоской волне частотой 20 кГц составляет 63 Па. Найти амплитуду ускорения молекул воздуха.
3. Амплитуда смещения бесконечной плоской мембраны на частоте 1 кГц равна 10 мкм. Определить звуковое давление и колебательную скорость на расстоянии 5 м от мембраны.
4. Определить интенсивность звука плоской волны, если амплитуда смещения на частоте 1000 Гц равна  $10^{-8}$  м.
5. Эффективное звуковое давление в плоской синусоидальной волне  $2 \cdot 10^{-5}$  Па (порог слышимости), частота сигнала 4 кГц. Найти амплитуду смещения молекул воздуха.
6. Точечный источник сферической волны мощностью 1 мВт создает на некотором расстоянии эффективное звуковое давление 0.2 Па. Определить расстояние до источника звука.

### 2.2 Реверберация

1. Стандартное время реверберации в помещении размером  $(10 \times 17 \times 3,5)$  м составляет 0.8 с. Найти средний коэффициент звукопоглощения.
2. Помещение прослушивания имеет форму параллелепипеда размером  $(5,5 \times 3,5 \times 2,7)$  м. Найти первые пять собственных частот и интервалы между ними.
3. В помещении размером  $(5,5 \times 3,5 \times 2,7)$  м работает источник сферической волны частотой 512 Гц. Стандартное время реверберации составляет 0.5 с. Найти радиус гулкости.
4. Размеры помещения  $(6 \times 10 \times 20)$  м, стандартное время реверберации 2 с, источник звука ненаправленный. Найти расстояние от источника звука, на котором должен быть расположен ненаправленный микрофон для получения оптимальной эквивалентной реверберации 1 с, и акустическое отношение на этом расстоянии. Затуханием в воздухе пренебречь.

### 2.3 Микрофоны

1. Найти сопротивление нагрузки конденсаторного микрофона емкостью 75 пФ для получения спада чувствительности на частоте 20 Гц не более 1 дБ.
2. Площадь конденсаторного микрофона составляет  $1 \text{ см}^2$ , поляризующее напряжение 100 В, гибкость мембраны 0,1 мм/Н, расстояние между обкладками 40 мкм. Найти чувствительность микрофона.

### 2.4 Головные телефоны

1. Какое максимальное напряжение должен обеспечивать усилитель, чтобы создать максимальное звуковое давление 115 дБ электростатическими телефонами закрытого типа со следующими параметрами: напряжение поляризации 500 В, расстояние между обкладками 0.5 мм, гибкость подвижной системы 1 мм/Н, площадь мембраны  $40 \text{ см}^2$ ? Объем воздуха между преобразователем телефона и ушной раковиной принять равным  $6 \text{ см}^3$ .

2. Гибкость подвижной системы головного телефона закрытого типа  $0.01 \text{ мм/Н}$ . Какое ограничение нужно наложить на массу подвижной системы, чтобы обеспечить диапазон частот до  $5 \text{ кГц}$ ?

3. Какой максимальный ток должен обеспечивать телефонный усилитель, чтобы создать максимальный уровень давления  $107 \text{ дБ}$  закрытым электродинамическим телефоном со следующими параметрами: индукция в зазоре  $0.5 \text{ Тл}$ , площадь подвижной системы  $8 \text{ см}^2$ , длина провода катушки  $1 \text{ м}$ , гибкость подвеса  $1 \text{ мм/Н}$ .

### **2.5 Громкоговорители**

1. Уровень характеристической чувствительности громкоговорителя  $90 \text{ дБ}$ . Определить верхнюю границу возможного коэффициента полезного действия (КПД).

2. Диаметр провода катушки электродинамического громкоговорителя  $0.15 \text{ мм}$ , длина провода  $1.2 \text{ м}$ . Внешний диаметр диффузора  $115 \text{ мм}$ , чувствительность  $90 \text{ дБ/Вт/м}$ , индукция в зазоре  $0,9 \text{ Тл}$ . Найти колеблющуюся массу.

### **2.6 Акустические оформления громкоговорителей**

1. Масса подвижной системы головки громкоговорителя  $45 \text{ г}$ , диаметр диффузора  $200 \text{ мм}$ , собственная резонансная частота  $31 \text{ Гц}$ , механическая добротность  $0.4$ . Найти объем закрытого ящика, при котором реализуется максимально плоская АЧХ, и нижнюю граничную частоту при этом. Присоединенной массой и потерями на излучение пренебречь.