



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**  
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет**  
**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

В.А. Тупик

«июня 2022 г.

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ –  
ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ  
КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ**

Группа научных специальностей: 1.3. «Физические науки»

1.3.7. «Акустика»

**Форма обучения: очная**

**Срок обучения: 4 года**

**Факультет: ФИБС**

**Выпускающая кафедра: ЭУТ**

Санкт-Петербург

2022

## СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет: ФИБС

Обеспечивающая кафедра: ЭУТ

Курс 4

Семестр 8

### **Виды занятий**

Лекции

Самостоятельная работа

### **Вид промежуточной аттестации**

Экзамен (семестр) 8

Разработчик

Аббакумов К. Е.

Зав. каф. ЭУТ

Аббакумов К. Е.

Заведующий ОДА

Тумаркин А. В.

## **АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«АКУСТИКА»**

Предусматривает изучение физических основ и специальных вопросов акустики в областях, связанных с проектированием и разработкой акустических систем и средств контроля и измерений для целей исследований твердых сред и Мирового океана и вопросов управления качеством промышленной продукции и эксплуатируемых изделий машиностроения, транспорта, и.т.д. и т.п. Так же описываются способы построения и применения устройств для обработки и генерации измерительных акустических сигналов.

### **SUBJECT SUMMARY**

#### **"ACOUSTICS"**

In discipline « Acoustics» are considered the basic laws of processes of falling, reflection and transmission of plane waves on border of section of two different environments. The wave processes occurring in liquid and gas wave guides with different boundary conditions are studied. Propagation of elastic waves along a surface of solids, and also – in homogeneous isotropic plates are considered.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Изучение принципов работы и характеристик акустических устройств измерений и контроля, выполняемых для автоматического и ручного режимов работы в виде электронных узлов и блок, используемых, как автономно, так и в составе измерительных комплексов.
2. Формирование умения проводить теоретический анализ, компьютерное моделирование и экспериментальные исследования физических процессов, лежащих в основе принципов работы акустических устройств измерений и контроля.
3. Освоение навыков самостоятельной работы с научной литературой; аппаратными и методическими средствами экспериментального исследования приборов и устройств.

# **СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

## **Введение**

Содержание, цель и значение дисциплины в подготовке аспирантов, ее связь с другими дисциплинами и подготовкой кандидатской диссертации. Общая классификация акустических задач.

## **Тема 1. Основные уравнения акустических полей в газах, жидкостях и твердых телах**

Основные характеристики акустических полей в газах и жидкостях. Система уравнений гидродинамики идеальных жидкостей. Линеаризация уравнений гидродинамики в задачах линейной акустики. Волновое давление. Скорость звука. Основные типы волн. Волны в поглощающих средах. Энергетические характеристики звуковых полей. Уравнения движения твердой упругой среды. Скалярный и векторный потенциалы. Продольные и поперечные волны.

## **Тема 2. Основы теории излучения и распространения акустических волн**

Основные характеристики излучающих систем. Сопротивление излучения. Характеристики направленности, коэффициент концентрации. Сферический излучатель. Общее решение для сопротивления излучения. Частные случаи. Цилиндрический излучатель. Общее решение для сопротивления излучения. Частные случаи. Круглая поршневая диафрагма в экране. Общее решение для сопротивления излучения. Анализ поля в дальней зоне, на оси излучателя. Характеристики излучения системы дискретных точечных излучателей, расположенных вдоль отрезка прямой. Излучение отрезка прямой. Компенсированная излучающая антenna. Взаимное сопротивление излучения системы излучателей.

## **Тема 3. Распространение акустических волн при наличии плоских границ раздела сред**

Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела жидких и твердых сред. Постановка задачи. Границные условия. Явление полного внутреннего отражения. Прохождение и отражение плоских волн при взаимодействии с пластиной. Поверхностные волны (Волны Рэлея). Методы возбуждения. Нормальные волны в пластинах. Способы возбуждения.

## **Тема 4. Распространение звука в трубах и рупорах**

Распространение звука в круглой трубе произвольного размера. Общее решение, анализ. Возбуждение звука в трубе. Резонанс для труб конечной длины. Распространение звука в трубе прямоугольного поперечного сечения. Рупорные антенны. Анализ решения для экспоненциального, катеноидального, конического рупора. Входное сопротивление рупора. Направленность рупора. Акустические элементы рупоров. Резонатор Гельмгольца. Акустические трансформаторы. Звукопроводы, акустические фильтры.

## **Тема 5. Колебания стержней**

Продольные колебания стержней, уравнение колебаний, условие резонанса, способы возбуждения. Крутильные колебания стержней, уравнения колебаний, условие резонанса, способы возбуждения. Изгибные колебания. Базовая теория, поправки Рэлея и Тимошенко, условия резонанса. Колебания стержней переменного сечения. Концентраторы.

## **Тема 6. Колебания мембран и пластин**

Уравнения колебаний мембран. Круглая и прямоугольная мембранны. Колебания пластин. Круглая и прямоугольная пластины. Толщинные и радиальные колебания пластин. Изгибные колебания тонких пластин. Уравнения колебаний. Решение и анализ решения задачи о колебаниях пластин, защемленных по контуру.

## **Тема 7. Дифракция звуковых волн**

Основы дифракционных явлений. Постановка и методы решения дифракционных задач. Метод разделения переменных. Дифракция на жесткой и гибкой сферах. Анализ решений. Интегральная формула Кирхгофа. Приближенное решение дифракционных задач с помощью формулы Кирхгофа.

## **Тема 8. Основы общей теории электроакустических преобразователей**

Преобразователи электрической, электромагнитной, электростатических систем; принцип действия. Уравнения преобразователя. Основные соотношения в режимах двигателя и генератора. Анализ решения. Преобразователи пьезоэлектрической системы. Пьезоэффект. Уравнение пьезоэффекта. Типы пьезокристаллов. Пьезокерамика. Пластинчатый преобразователь. Стержневой преобразователь. Сферический преобразователь. Основные соотношения для характеристик. Преобразователи магнитострикционной системы. Явление магнитострикции. Уравнения пьезомагнетизма. Электрокинетические, пьзорезистивные и другие типы преобразователей. Преобразователи с одной механической стороной. Преобразователь как четырехполюсник. Уравнение преобразователя.

Схемы аналоги. Преобразователь с двумя механическими сторонами. Преобразователь как шестиполюсник. Уравнение преобразователя. Схемы аналоги. Приемники звука. Чувствительность и направленные свойства приемников при работе на частотах резонанса и ниже резонанса.

## **Тема 9. Акустоэлектроника и акустооптика**

Возбуждение и прием поверхностных волн. Встречно-штыревые преобразователи. Линии задержки и фильтры на основе поверхностных волн в кристаллах. Дифракция света на ультразвуке. Дифракция Рамана-Ната. Дифракция Брэгга. Акустооптика жидких кристаллов. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна.

## **Тема 10. Основы нелинейной акустики**

Плоские, сферические и цилиндрические нелинейные волны. Взаимодействие нелинейных волн. Параметрические антенны. Нелинейные акустические эффекты в кристаллах.

## **Заключение**

Перспективы развития акустики, новые области применения функциональных узлов, устройств и приборов высокопроизводительных информационно-измерительных систем измерений, контроля и акустоэлектроники.

В случае, если дисциплина реализуется в группах с малой численностью, занятия по отдельным разделам могут проходить в виде установочной лекций, выдачи и объяснения задания по теме, а текущий контроль может проходить в виде представления и защиты аспирантом выполненного задания.

Общие рекомендации по выполнению индивидуальных заданий доступны для аспиранта в печатном или электронном виде (на сайте Университета), либо аспирант может получить рекомендации у преподавателя, отвечающего за дисциплину, в часы консультаций. Задание формулируется с учетом тематики диссертационного исследования аспиранта в рамках изучаемой дисциплины.

# **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

## **Методические рекомендации преподавателям:**

Перед началом преподавания дисциплины преподавателю необходимо:

- знать цели и задачи преподавания дисциплины;
- представлять, какие знания, умения и навыки должен приобрести аспирант в процессе изучения данной дисциплины;
- четко понимать, в формировании каких результатов освоения программы аспирантуры участвует дисциплина.

Если учебным планом по дисциплине предусмотрен экзамен, его рекомендуется проводить в форме индивидуальной беседы с аспирантом по вопросам, сформулированным в фондах оценочных средств дисциплины, используя вопросы из различных разделов дисциплины, обеспечив тем самым более полную проверку знаний аспиранта.

В своей деятельности преподаватель должен руководствоваться локальными нормативными актами, регламентирующими образовательную деятельность по образовательным программам подготовки кадров высшей квалификации в университете.

## **Методические рекомендации по самостоятельной работе аспирантов:**

Изучение каждой дисциплины должно сопровождаться самостоятельной работой аспиранта с рекомендованными преподавателями литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет по всем разделам дисциплины.

Ряд вопросов, подлежащих изучению в составе дисциплины, достаточно хорошо проработаны в учебной литературе, представлены в научных трудах, сборниках трудов, статьях, в сети Интернет. Эти вопросы могут быть переданы аспирантам на самостоятельное изучение. Такая работа строится на основе подготовленных преподавателем заданий с перечнем вопросов, на которые обучающийся должен найти ответы в процессе самостоятельного изучения. Самостоятельно могут изучаться как целые темы, так и отдельные вопросы в составе обозначенных преподавателем, но не полностью раскрытых им тем. Для за-

крепления материала ведется конспектирование, готовятся рефераты, эссе или делаются доклады. Степень освоения самостоятельно изученных материалов обязательно проверяется контрольными мероприятиями с использованием фонда оценочных средств по дисциплине.

Особое место требуется уделить консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и аспирантами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

**Перечень основной и дополнительной учебной литературы,  
необходимой для освоения дисциплины**  
**ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

№	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ. (на каф.)
1	Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику: М., Физматлит, 2008, 655 с.	5 (2)
2	Лепендин Л.Ф. Акустика: Учеб. пособие для вузов, М., Высшая школа, 1978, 448 с.	148(2)
3	Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику: Учебное пособие, М., Наука, 1984, 403 с.	122(3)

**ДПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

№	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ. (на каф.)
1	Гринченко В.Т., Вовк И.В., Мацьпуря В.Т. Волновые задачи акустики: Киев, Интерсервис, 2013, 572 с. <a href="http://ru.bookzz.org/book/2209997/52c327">http://ru.bookzz.org/book/2209997/52c327</a>	0(1)
2	Свердлин Г.М. Прикладная гидроакустика: Учеб. пособие, Л., Судостроение, 1990, 320 с.	32(5)
3	Егоров Н.Н., Яковлев Л.А. Колебания и волны. Учебное пособие, СПб.: СПбГЭТУ, 1997, 111 с.	45(3)

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети  
«Интернет», используемых при освоении дисциплины**

№	Электронный адрес
1	Сайт книг по акустике и звукотехнике <a href="http://www.twirpx.com/files/equipment/acoustics/">http://www.twirpx.com/files/equipment/acoustics/</a>
2	Научная электронная библиотека. Режим доступа <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>

Информационные технологии (операционные системы, программное обеспечение общего и специализированного назначения, а также информационные справочные системы) и материально-техническая база, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, соответствуют федеральным государственным требованиям.

Конкретные формы и процедуры текущего контроля знаний и промежуточной аттестации, включая перечень экзаменационных вопросов (Приложение 1), а также методические указания для обучающихся по самостоятельной работе при освоении дисциплин, доводятся до сведения обучающихся на первом занятии.

## Приложение 1

### Список экзаменационных вопросов по дисциплине

#### «АКУСТИКА»

1. Основные уравнения движения в идеальном газе и жидкости.
2. Волновое уравнение и его решение.
3. Энергия упругих волн.
4. Затухание упругих волн.
5. Скорость звука в газах и жидкостях.
6. Условия излучения упругих волн.
7. Характеристики излучателей.
8. Пульсирующая сфера.
9. Двойной источник, или акустический диполь.
10. Звуковое поле осциллирующей сферы.
11. Отражение и прохождение звука через границу раздела при нормальном падении.
12. Отражение и прохождение звука через границу раздела при произвольном угле падения.
13. Полное внутреннее отражение.
14. Прохождение звука через плоский слой.
15. Прохождение звука через слой с переменными параметрами.
16. Волноводное распространение звука.

17. Нормальные волны в трубах.
18. Возбуждение звука в трубе прямоугольного сечения.
19. Излучение звука пульсирующим кольцом в цилиндрический канал с жесткими стенками.
20. Прямоугольный поршень на боковой поверхности цилиндра.
21. Продольные колебания стержней.
22. Колебания стержней постоянного сечения.
23. Поперечные колебания стержней.
24. Крутильные колебания стержней.
25. Колебания стержней переменного сечения. Концентраторы.
26. Уравнения колебаний мембран.
27. Поперечные колебания мембран. Круглая и прямоугольная мембранны
28. Поперечные колебания пластин. Круглая и прямоугольная пластины.
29. Толщинные и радиальные колебания.
30. Изгибные колебания тонких пластин.
31. Волновое уравнение и краевые условия.
32. Рассеяние плоской волны на цилиндре конечной длины.
33. Интенсивность рассеянной волны на далеких расстояниях от рассеивающего цилиндра.
34. Рассеяние плоской волны на сфере.
35. Дальнее поле рассеяния на сфере.
36. Интегральная формула Кирхгофа.
37. Электроакустический преобразователь, как четырехполюсник.
38. Магнитострикционный преобразователь.
39. Электродинамический преобразователь.
40. Пьезокерамический продольный вибратор.
41. Схемы аналоги.
42. Пьезокерамический дисковый преобразователь.
43. Возбуждения и детектирование поверхностных волн. Встречно-штыревой преобразователь.

- 44.Линии задержки и фильтры, использующие преобразователи поверхностных волн.
- 45.Рассеяние поверхностных волн. Резонаторы и фильтры на основе отражающих структур.
- 46.Усиление звука в пьезополупроводниках и слоистых структурах.
- 47.Дифракция света на ультразвуке. Раман-натовский и брэгговский режимы.
- 48.Дифракция света на поверхностных акустических волнах.
- 49.Рассеяние Мандельштамма-Бриллюэна на тепловых колебаниях.
- 50.Акустооптика жидких кристаллов.
- 51.Плоская нелинейная волна в среде с диссипацией.
- 52.Нелинейные плоские волны в среде с дисперсией.
- 53.Взаимодействие нелинейных волн. Параметрические явления.
- 54.Нелинейные акустические эффекты в кристаллах.
- 55.Нелинейные эффекты в магнитоупорядоченных кристаллах.