

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 14.11.2022 15:56:49  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП  
«Приборы и методы контроля  
качества и диагностики»



**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»)**

---

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**ДИСЦИПЛИНЫ**

**«ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ»**

для подготовки бакалавров

по направлению

12.03.01 «Приборостроение»

по профилю

**«Приборы и методы контроля качества и диагностики»**

Санкт-Петербург

2022

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.т.н., старший научный сотрудник Степанов Б.Г.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭУТ  
13.05.2022, протокол № 8

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФИБС, 18.05.2022, протокол № 8

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФИБС
Обеспечивающая кафедра	ЭУТ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	3
Курс	4
Семестр	8
<b>Виды занятий</b>	
Лекции (академ. часов)	16
Практические занятия (академ. часов)	24
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	41
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	67
Всего (академ. часов)	108
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Дифф. зачет (курс)	4

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ»**

В дисциплине «Волновые процессы в твердых телах» рассматриваются основные закономерности процессов падения, отражения и прохождения плоских волн на границе раздела двух различных сред. Изучаются волновые процессы, происходящие в жидкостных (газовых) и твердотельных волноводах с разными граничными условиями. Рассматривается распространение упругих волн вдоль поверхности твердых тел, а также – в однородных изотропных пластинах.

### **SUBJECT SUMMARY**

#### **«WAVE PROCESSES IN SOLID-STATE MEDIA»**

In discipline «Wave processes in solid-state media» 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 (gas) and solid-state waveguides with different boundary conditions are studied. Propagation of elastic waves along a surface of solids, and also – in homogeneous isotropic plates are considered.

## 3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цель дисциплины -получение знаний об основных закономерностях волновых процессов, связанных с падением, отражением и происхождением упругих волн различной поляризации границы раздела двух разных сред, а также – распространением этих волн в ограниченных жидких и твердых средах и приобретение умений и навыков анализа и моделирования указанных процессов в профессиональной деятельности.

2. Задачи дисциплины:

Получение знаний об основных закономерностях волновых процессов разных средах.

Освоение методов расчета и решения граничных задач при падении, отражении и прохождении упругих волн различной поляризации границы раздела разных сред, и при распространении этих волн в ограниченных жидких и твердых средах.

Приобретение навыков и умений по анализу и моделированию волновых процессов, учитывающих влияние границ различных сред.

3. Получение знаний о физических процессах и основных закономерностях , связанных с взаимодействием упругих волн различной поляризации на границах раздела газообразных , жидких и твердых сред, а также -при распространении в волноводах.

4. Приобретение навыков и умений по анализу и моделированию волновых процессов, учитывающих влияние границ различных сред.

5. Формирование навыков теоретических и экспериментальных исследований и моделирования волновых полей, грамотной постановки и решения граничных задач.

### **3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Математический анализ»
2. «Теория излучения, рассеяния и приема звука»
3. «Физика»
4. «Физические основы получения информации»
5. «Колебания и волны»
6. «Механика сплошных сред»

и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

### 3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

<b>Код компетенции/ индикатора компетенции</b>	<b>Наименование компетенции/индикатора компетенции</b>
СПК-2	Способен выполнять математическое моделирование процессов и систем в области приборов и методов контроля качества и диагностики
<i>СПК-2.1</i>	<i>Выполняет математическое моделирование процессов в области приборов и методов контроля качества и диагностики</i>
<i>СПК-2.2</i>	<i>Выполняет математическое моделирование систем в области приборов и методов контроля качества и диагностики</i>

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Содержание разделов дисциплины

#### 4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	0.5			
2	Отражение и преломление плоских волн на плоских границах раздела сред	5	8		20
3	Распространение звуковых волн в газообразных и жидкостных волноводах	3.5	8		15
4	Распространение звуковых волн в твердотельных волноводах. Поверхностные волны	4.5	6		17
5	Распространение звуковых волн в волноводах переменного поперечного сечения	2	2		15
6	Заключение	0.5		1	
	Итого, ач	16	24	1	67
	Из них ач на контроль	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	108/3			

#### 4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Цели и задачи дисциплины. Структура и содержание дисциплины, ее связь с другими дисциплинами.



№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
2	Отражение и преломление плоских волн на плоских границах раздела сред	<p>Граничные условия для различных комбинаций сред, включая жидкие, твердые и пьезоэлектрические среды. Отражение и преломление плоских волн на границах раздела жидких и газообразных сред: граничные условия, закон Снеллиуса, понятие следа волны, коэффициенты отражения и преломления по давлению, скорости, интенсивности и потоку энергии. Явление полного прохождения звука. Явление полного внутреннего отражения и неоднородные волны. Отражение и преломление плоской волны, падающей из жидкости на границу раздела жидкость – твердое тело и из твердой среды на границу раздела твердое тело – жидкость. Понятие сагиттальной плоскости и схема расщепления задачи на подзадачи для сагиттально поляризованных волн и поперечных волн с горизонтальной поляризацией. Критические углы и порядок их вычисления. Отражение упругих волн от свободной поверхности твердой среды. Углы обмена поляризацией. Отражение и прохождение плоской волны через слой и систему плоских слоев. Просветляющие (согласующие) и изолирующие</p>
3	Распространение звуковых волн в газообразных и жидкостных волноводах	<p>Понятие о природных и искусственных акустических волноводах. Волны в плоском жидком волноводе с абсолютно жесткими стенками. Понятия и порядок нахождения парциальных решений и нормальных волн. Определение критических частот. Фазовая и групповая скорости распространения нормальных волн. Физический смысл нормальной волны. Распределение различных акустических характеристик в сечении волновода. Влияние граничных условий на распространение волн в плоском жидком волноводе (случаи двух абсолютно мягких, одной абсолютно мягкой и одной абсолютно жесткой границ). Влияние на распространение звуковых волн неидеальности границ волновода.</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
4	Распространение звуковых волн в твердотельных волноводах. Поверхностные волны	Понятие о природных и искусственных твердотельных волноводах. Особенности распространения акустических волн в твердых волноводах. Упругие волны в однородных изотропных пластинах. Сдвиговые нормальные волны (SH-волны). Волны Лэмба (SV-волны). Симметричные и антисимметричные волны Лэмба. Форма колебаний пластин при распространении волн Лэмба. Физический смысл волны Лэмба. Поверхностные волны в изотропных твердых средах. Волны Рэлея, как пример сагиттально поляризованных поверхностных волн в случае полубезграничной твердой среды. Поверхностные волны Лява, как пример поперечно поляризованных поверхностных волн в случае твердого слоя, лежащего на полубезграничной твердой среде. Понятия поверхностных волн Сезава (сагиттально поляризованные волны для слоя, лежащего на полубезграничной твердой среде) и волны Стоунли (интерфейсные волны, распространяющиеся вдоль границы двух твердых полупространств).
5	Распространение звуковых волн в волноводах переменного поперечного сечения	Распространение звука в трубах переменного поперечного сечения. Распространение звука в тонких трубах постоянного поперечного сечения. Понятие входного импеданса.
6	Заключение	Современное применение объемных и поверхностных акустических волн.

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

## 4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Продольные и поперечные плоские волны в твердых средах.	2
2. Отражение и преломление плоских волн на плоских границах раздела различных сред.	6
3. Жидкостные (газообразные) акустические волноводы, нормальные волны.	6
4. Твердотельные акустические волноводы. Волны Лэмба.	6
5. Поверхностные волны. Волны Рэлея и Стоунли.	2
6. Распространение звука в трубах переменного поперечного сечения. Ру-пора.	2
Итого	24

#### **4.4 Курсовое проектирование**

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

#### **4.5 Реферат**

Реферат не предусмотрен.

#### **4.6 Индивидуальное домашнее задание**

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

#### **4.7 Доклад**

Доклад не предусмотрен.

#### **4.8 Кейс**

Кейс не предусмотрен.

#### **4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной

дисциплины.

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

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	15
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	8
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	8
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	0
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	14
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	22
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>67</b>

## 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Егоров, Николай Николаевич. Колебания и волны [Текст] : учеб. пособие / Н.Н. Егоров, Л.А. Яковлев, 1997. -110 с.	неогр.
2	Лепендин Л.Ф. Акустика [Текст] : учеб.пособие для ВТУЗов / Л.Ф. Лепендин, 1978. -448 с.	148
Дополнительная литература		
1	Красильников, Владимир Александрович. Введение в физическую акустику [Текст] : учеб. пособие для физ. специальностей вузов / В.А. Красильников, В.В. Крылов ; под ред. В.А. Красильникова, 1984. -400 с.	122
2	Горелик, Габриэль Семенович. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику [Текст] / Г.С. Горелик ; под ред. С.М. Рытова, 2008. -655 с.	5

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

№ п/п	Электронный адрес
1	Гринченко В.Т., Вовк И.В., Мацьпура В.Т. Основы акустики. -Учебное пособие. Киев, : Наукова думка, 2009, 640 с. <a href="https://www.studmed.ru/science/priborostroenie/akustika-i-zvukotehnika/obschaya-fizicheskaya-akustika">https://www.studmed.ru/science/priborostroenie/akustika-i-zvukotehnika/obschaya-fizicheskaya-akustika</a>
2	Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М.: Наука, 1981, 288 с. <a href="https://www.studmed.ru/science/priborostroenie/akustika-i-zvukotehnika/obschaya-fizicheskaya-akustika">https://www.studmed.ru/science/priborostroenie/akustika-i-zvukotehnika/obschaya-fizicheskaya-akustika</a>
3	Кайно Г. Акустические волны: Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов, М., Мир, 1990, 656 с. <a href="https://www.studmed.ru/priborostroenie-radio-i-svyaz/mikro-i-nanosistemnaya-tehnika">https://www.studmed.ru/priborostroenie-radio-i-svyaz/mikro-i-nanosistemnaya-tehnika</a>
4	Соловьянова И.П., Шабунин С.Н. Теория волновых процессов. Акустические волны: Учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 142 с. <a href="https://www.studmed.ru/science/priborostroenie/akustika-i-zvukotehnika/obschaya-fizicheskaya-akustika">https://www.studmed.ru/science/priborostroenie/akustika-i-zvukotehnika/obschaya-fizicheskaya-akustika</a>

## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Волновые процессы в твердых телах» формой промежуточной аттестации является зачет с оценкой.

#### Зачет с оценкой

<b>Оценка</b>	<b>Описание</b>
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

## Особенности допуска

Допуск к дифф. зачету положительные оценки по двум контрольным и устным опросам на практике. Оценка по дифференциальному зачету определяется как среднее арифметическое значение за контрольные работы и опросы с учетом посещаемости занятий. На зачетной неделе, желающим студентам предоставляется возможность повысить оценку путем устного собеседования.

## 6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### Примерные вопросы к дифф.зачету

№ п/п	Описание
1	Что такое «критический угол», что при этом происходит. Приведите пример.
2	Каковы граничные условия для плоских границ «жидкость – жидкость», «твердое тело – жидкость».
3	Что такое неоднородная плоская волна: понятие, условия возникновения и распространения. Приведите пример.
4	Что такое «угол обмена поляризацией», что при этом происходит. Каким образом он определяется и выполнение каких условий необходимо.
5	В чем заключается эффект Доплера, приведите примеры. Когда этот эффект проявляется максимально, а когда он отсутствует. Что при этом можно сказать о законе Снеллиуса?
6	Что собой представляют волны Рэлея, где и при каких условиях они могут распространяться, в чем их особенность? Запишите граничные условия.
7	Что собой представляют волны Лява, в каких средах и при каких условиях они могут распространяться, каковы их свойства? Постановка задачи и граничные условия.
8	Что собой представляют волны Лэмба и где они распространяются, какие типы волн Лэмба Вам известны и в чем их особенность? Что собой представляют их моды нулевого порядка?
9	Что такое критические частоты, для каких типов волн они определяются и что на этих частотах происходит с этими волнами? Каковы значения на этих частотах фазовой и групповой скоростей волн?
10	Для чего используются рупоры и какие их типы Вам известны? Какие из них лучше по своим функциональным свойствам? К чему приводит ограниченность в продольном размере рупоров?

## Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

### Тема: Отражение и преломление плоских волн на плоских границах раздела сред

1. Что такое «поляризация волны» и «плоскость падения», как они определяются.

2. Что такое неоднородная плоская волна: понятие, условия возникновения и распространения. Приведите пример.

3. Каковы граничные условия для идеализированных границ полупространств: «свободная граница» (для жидкой и твердой среды); «абсолютно мягкая граница»; «абсолютно твердая граница».

4. Поясните явление полного внутреннего отражения: понятие и условия возникновения (на примере границы раздела двух жидкостей).

5. При каком условии слой становится акустически прозрачным. Когда его можно считать согласующим (просветляющим). Укажите нужные соотношения.

6. Какое утверждение является базой для получения закона Снеллиуса. Что такое «след волны».

7. Для каких волн рассматривается скалярный и векторный потенциал. С какими упругими смещениями они связаны и как?

8. На границу раздела «I жидкость – II твердая среда» из жидкости падает плоская продольная волна. Запишите для этой задачи граничные условия, закон Снеллиуса и соотношение между коэффициентами отражения и прохождения по энергии (с учетом нужных индексов). Изобразите все отраженные и прошедшие волны с учетом их поляризации и проанализируйте ход этих волн при изменении угла от  $0$  до  $90^\circ$ . Анализ провести для: а) – нормальное падение волны; б) – произвольный угол падения волны; в) – отметить все возможные



«особые» углы и явления.

### 6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
5	Отражение и преломление плоских волн на плоских границах раздела сред	Контрольная работа
11	Распространение звуковых волн в газообразных и жидкостных волноводах Распространение звуковых волн в твердотельных волноводах. Поверхностные волны Распространение звуковых волн в волноводах переменного поперечного сечения	Контрольная работа

### 6.4 Методика текущего контроля

#### на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя:

-контроль посещаемости (не менее 70 % занятий), а также – выборочный устный опрос с целью проверки усвояемости материала;

– выполнение 2 контрольных работ (на 5 и 11 неделях), оценка за которые по четырехбалльной шкале выставляется по следующим критериям:

- «отлично» - все вопросы раскрыты полностью, задачи решены правильно;
- «хорошо» - вопросы раскрыты не полностью, задачи решены частично;
- «удовлетворительно» - в ответах на вопросы имеются существенные ошибки, задачи не решены или решены неправильно, ход решения правильный;
- «неудовлетворительно» - отсутствуют ответы на вопросы или содержание ответов не совпадает с поставленными вопросами, задачи не решены, ход решения неправильный.

#### на практических (семинарских) занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 70 % занятий), выборочный устный опрос с целью проверки усвояемости матери-

ала, а также – контроль решения студентами задач по темам перечня практических занятий, как аудитории, так домашних заданий. При проведении практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в обсуждении решения задач и других рассматриваемых вопросов. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

### **самостоятельной работы студентов**

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях студентов

Итоговая оценка по дифференцированному зачету определяется с учетом оценок, полученным за контрольные работы, посещаемости всех занятий и активности на практических занятиях. При необходимости уточнения итоговой оценки, проводится дополнительное индивидуальное собеседование со студентом для проверки его знаний основных положений, определений и формул по всем разделам дисциплины.

## 7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, доска, экран, проектор, ПК	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, доска	
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

## **8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

<b>№ п/п</b>	<b>Дата</b>	<b>Изменение</b>	<b>Дата и номер протокола заседания УМК</b>	<b>Автор</b>	<b>Начальник ОМОЛА</b>