

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 19.05.2023 14:22:39  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП  
«Акустические приборы и системы»



**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

**«НЕЛИНЕЙНАЯ АКУСТИКА»**

для подготовки бакалавров

по направлению

12.03.01 «Приборостроение»

по профилю

**«Акустические приборы и системы»**

Санкт-Петербург

2022

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

профессор, д.т.н., старший научный сотрудник Островский Д.Б.

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**

### **«НЕЛИНЕЙНАЯ АКУСТИКА»**

Дисциплина "Нелинейная акустика" состоит из двух основных разделов: "Уравнения нелинейной акустики" и "Параметрические антенны".

В первом разделе приводятся сведения о полной системе нелинейных уравнений; излагаются основные понятия, характеризующие нелинейные волны; изучаются основные методы приближенных решений системы; на примере плоских волн демонстрируются искажение фронта волны и образование разрыва.

Во втором разделе рассматриваются основные методы расчета параметрических излучающих и приемных антенн; излагаются особенности использования параметрических антенн в гидроакустических системах различного назначения; обсуждаются особенности экспериментальных исследований характеристик параметрических антенн.

### **SUBJECT SUMMARY**

#### **«NONLINEAR ACOUSTICS»**

The discipline "Nonlinear acoustics" consists of two main sections: "Nonlinear acoustics equations" and "Parametric antennas".

The first section provides information about the complete system of nonlinear equations; the basic concepts characterizing nonlinear waves are stated; the main methods of approximate solutions of the system are studied; using plane waves as an example, the distortion of the wave front and the formation of a discontinuity are demonstrated.

The second section discusses the main methods for calculating parametric transmitting and receiving antennas; features of the use of parametric antennas in hydroacoustic systems for various purposes are outlined; the features of experimental studies of the characteristics of parametric antennas are discussed.

## 3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Целями изучения дисциплины -получение знаний о физических основах построения акустических систем, реализующих физические явления, связанные с учетом нелинейности среды распространения акустических волн, в том числе нелинейные взаимодействия; формирование умений учитывать нелинейные эффекты при решении задач гидроакустики; формирование умений моделирования основных характеристик параметрических излучающих и приемных антенн с учетом нелинейных эффектов; получение навыков теоретических и экспериментальных исследований гидроакустических систем с использованием приборов нелинейной акустики

2. Задачами изучения дисциплины являются:

Получить знания о физических явления, связанных нелинейностью среды распространения акустических волн;

Получить знания о физических основах построения акустических систем с учетом нелинейных эффектов, связанных с учетом нелинейности среды распространения акустических волн;

Сформировать умение учитывать нелинейные эффекты при конструировании и проектировании акустических систем;

Сформировать умение моделировать основные характеристики параметрических излучающих и приемных антенн с учетом нелинейных эффектов;

Получить навык теоретических и экспериментальных исследований гидроакустических систем с использованием приборов нелинейной акустики

3. Знание физических явлений, связанных с учетом нелинейности среды распространения акустических волн;

Знание физических основ построения акустических систем с учетом нелиней-

ных эффектов

4. Умение учитывать нелинейные эффекты при конструировании и проектировании акустических систем;

Умение моделировать основные характеристики параметрических излучающих и приемных антенн с учетом нелинейных эффектов

5. Навык проведения теоретических исследований гидроакустических систем с использованием приборов нелинейной акустики;

Навык проведения экспериментальных исследований гидроакустических систем с использованием приборов нелинейной акустики

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

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Математический анализ»
2. «Физика»
3. «Физические основы получения информации»
4. «Методы анализа и обработки сигналов»
5. «Теория колебательных и волновых процессов»
6. «Акустические измерения»
7. «Источники и приемники излучения»
8. «Теория излучения, рассеяния и приема звука»

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>
ПК-1	Способен анализировать техническое задание, проектировать и конструировать типовые детали и узлы приборов и систем, составлять техническую документацию, включая описания, инструкции и другие документы
<i>ПК-1.1</i>	<i>Анализирует техническое задание при проектировании типовых деталей и узлов приборов и систем</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	2		4
2	Плоские волны конечной амплитуды	2	2		6
3	Сферические волны конечной амплитуды	2	2		6
4	Технологические процессы с использованием акустических волн конечной амплитуды	1	2		6
5	Общие характеристики параметрических излучающих и приемных антенн	2	2		6
6	Параметрические излучающие антенны	2	2		6
7	Техническая реализация параметрического излучателя	2	2		6
8	Области применения параметрических излучателей	1	2		6
9	Параметрический приемник	2	2		6
10	Особенности экспериментальных исследований параметрических антенн	1	2		6
11	Понятие о нелинейной акустодиагностике	1	2		6
12	Заключение		2	1	3
	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	Предмет курса. Краткая справка о развитии нелинейной акустики и областях использования методов нелинейной акустики. Структура и содержание дисциплины, связь с другими дисциплинами. Общая историческая справка о развитии нелинейной акустики как научной и прикладной дисциплины
2	Плоские волны конечной амплитуды	Полная система уравнений акустики. Физические явления при распространении периодического сигнала конечной амплитуды, образование гармоник. Нелинейный параметр среды. Обзор методов решения нелинейных уравнений акустики
3	Сферические волны конечной амплитуды	Модель источника. Основные методы решения уравнений, допущения и асимптотики



№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
4	Технологические процессы с использованием акустических волн конечной амплитуды	Технические решения для получения акустических волн конечной амплитуды. Основные физические процессы, связанные с волнами конечной амплитуды. Технологические процессы с использованием методов нелинейной акустики, в том числе процессы акустической обработки, сварка и резание, обработка скважин
5	Общие характеристики параметрических излучающих и приемных антенн	Параметрическая антенна как продукт нелинейного взаимодействия акустических волн. Обобщенные структуры параметрических антенн. Краткая историческая справка, роль отечественной фундаментальной и прикладной науки
6	Параметрические излучающие антенны	Модель Вестервельта. Свойства параметрического излучателя. Условия реализуемости модели Вестервельта. Модели Моффетта-Меллена, Хохлова-Заболотской-Кузнецова, метод волновых фронтов. Допущения в различных моделях параметрического излучателя. Сопоставление результатов расчета основных характеристик по различным моделям, соответствие экспериментальным данным
7	Техническая реализация параметрического излучателя	Схемы возбуждения, особенности одноканального и двухканального способов возбуждения. Возможности управления характеристиками и их оптимизация. Управление лучом характеристики направленности. Характеристики в полосе частот
8	Области применения параметрических излучателей	Эхолот. Доплеровский лаг. Эхоледомер. Профилограф. Использование суммарной частоты. Комплексное использование режима параметрического излучения. Возможности комплексирования различных режимов работы гидроакустической системы при реализации режима параметрического излучения
9	Параметрический приемник	Модели Зверева-Калачева и Тручарда. Основные технические характеристики. Возможности управления характеристиками. Области использования
10	Особенности экспериментальных исследований параметрических антенн	Роль нелинейных искажений. Специфика построения, требования к генераторным устройствам и трактам приема. Методы измерения характеристик параметрических антенн в условиях бассейна и вблизи отражающих поверхностей
11	Понятие о нелинейной акустодиагностике	Физические основы методов нелинейной диагностики. Сочетание нелинейной диагностики и традиционных методов линейно-акустического обнаружения дефектов в твердых телах
12	Заключение	Основные тенденции в развитии прикладных методов нелинейной акустики

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

## 4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Системы уравнений нелинейной акустики. Нелинейный параметр	4
2. Преобразование результатов к соотношениям, используемым на практике	4
3. Общая методика расчета параметрической излучающей антенны	4
4. Особенности использования различных моделей расчета	4
5. Расчет оптимальных частот параметрического приемника	4
6. Определение уровня допустимой нелинейности различных частей трактов излучения/приема	4
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.

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	20
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	0
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	20
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
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	27
<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	Островский, Дмитрий Борисович. Введение в нелинейную гидроакустику [Текст] : учеб. пособие / Д. Б. Островский, 2020. -143 с.	20
2	Смарышев, Михаил Дмитриевич. Элементы теории направленности гидроакустических антенн [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. 551500 "Приборостроение" и специальности 190400 "Акустические приборы и системы" направления подгот. дипломир. специалистов 653700 "Приборостроение" / М.Д. Смарышев, 2004. -143 с.	58
Дополнительная литература		
1	Новиков, Борис Константинович. Нелинейная гидроакустика [Текст] / Б.К. Новиков, О.В. Руденко, В.И. Тимошенко, 1981. -263, [1] с.	29
2	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

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

№ п/п	Электронный адрес
1	Научно-технический сборник "Гидроакустика" <a href="http://www.oceanpribor.ru/text/7.htm">www.oceanpribor.ru/text/7.htm</a>

### 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=12577>

## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Нелинейная акустика» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: 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

Для допуска к процедуре промежуточной аттестации необходимо написать две контрольные работы и получить положительную оценку по каждой из них. Критерии выставления оценки по каждому из элементов для допуска к промежуточной аттестации приведены в методике текущего контроля.

Промежуточная аттестация осуществляется в форме коллоквиума с выдачей билета, письменного и устного ответа на него, а также устным ответом на вопросы преподавателя по всему курсу, критерии выставления оценки приведены в методике текущего контроля.

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

### Вопросы к дифф.зачету

№ п/п	Описание
1	Плоские волны. Полная система уравнений акустики
2	Модель источника сферической волны. Основные методы решения уравнений, допущения и асимптотики
3	Технические решения для получения акустических волн конечной амплитуды. Основные физические процессы, связанные с волнами конечной амплитуды
4	Параметрическая антенна как продукт нелинейного взаимодействия акустических волн
5	Модель Вестервельта. Свойства параметрического излучателя. Условия реализуемости модели Вестервельта
6	Модели Моффетта-Меллена, Хохлова-Заболотской-Кузнецова, метод волновых фронтов. Допущения в различных моделях параметрического излучателя
7	Параметрический излучатель. Схемы возбуждения, особенности одноканального и двухканального способов возбуждения
8	Эхолот. Доплеровский лаг. Эхоледомер. Профилограф
9	Параметрический приемник. Модели Зверева-Калачева и Тручарда. Основные технические характеристики
10	Физические основы методов нелинейной диагностики
11	Основные физические процессы, связанные с волнами конечной амплитуды.
12	Модели Моффетта-Меллена, Хохлова-Заболотской-Кузнецова, метод волновых фронтов.
13	Методы решения нелинейных уравнений акустики
14	Модели параметрического излучателя

15	Схемы возбуждения, особенности одноканального и двухканального способов возбуждения.
----	--

### Форма билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

---

### БИЛЕТ № 1

Дисциплина **Нелинейная акустика** ФИБС

1 Методы решения нелинейных уравнений акустики

2 Модели параметрического излучателя

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

К.Е. Аббакумов

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

#### Пример индивидуального задания к контрольной работе №1

1 Метод расчета параметрической излучающей антенны Вестервельта. История. Постановка задачи и физические ограничения, начальные и граничные условия, результаты, представленные в статье Вестервельта. Аналитические выражения для давления и ХН (интерпретация Берктея), анализ этих выражений

2 Объясните, почему «силовой» член в уравнении Навье-Стокса можно представить в виде «0», «нелинейный» член  $\rightarrow 0^2$ , «диссипативный»  $\rightarrow ^2$

#### Пример индивидуального задания к контрольной работе №2

1 Нелинейные искажения в приемной измерительном тракте. Требования



при измерении давления и ХН. Калибровка измерительного тракта на нелинейности и динамический диапазон - метод «Звезды»

2 Построить графики зависимости ширины ХН от F по методам Вестервельта и Волновых фронтов при диаметре источника 20 см и средней частоте сигнала накачки 120 кГц,  $F \in [0,1; 10]$  кГц

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

### 6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
4	Плоские волны конечной амплитуды Сферические волны конечной амплитуды Технологические процессы с использованием акустических волн конечной амплитуды	Контрольная работа
7	Параметрические излучающие антенны Техническая реализация параметрического излучателя Области применения параметрических излучателей Параметрический приемник	Контрольная работа
8	Плоские волны конечной амплитуды Сферические волны конечной амплитуды Технологические процессы с использованием акустических волн конечной амплитуды Общие характеристики параметрических излучающих и приемных антенн Параметрические излучающие антенны Техническая реализация параметрического излучателя Области применения параметрических излучателей Параметрический приемник Особенности экспериментальных исследований параметрических антенн Понятие о нелинейной акустодиагностике	Коллоквиум

### 6.4 Методика текущего контроля

#### на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя:

- контроль посещаемости (не менее **50 %** занятий), по результатам которого студент получает допуск на зачет с оценкой;

- выполнение **контрольной работы №1**, оценка за которую по четырехбалльной шкале выставляется по следующим критериям:

«отлично» - на оба вопроса контрольной работы даны верные развернутые ответы;

«хорошо» - на оба вопроса контрольной работы даны верные достаточно развернутые ответы;

«удовлетворительно» - на оба вопроса контрольной работы даны непол-

ные ответы, в которых содержатся ошибки;

«неудовлетворительно» - на один (и более) вопрос контрольной работы ответ не дан, в ответах содержатся существенные ошибки.

### **на практических занятиях**

Текущий контроль включает в себя:

- контроль посещаемости (не менее **50 %** занятий);

- выполнение **контрольной работы №2**, оценка за которую по четырехбалльной шкале выставляется по следующим критериям:

«отлично» - на оба вопроса контрольной работы даны верные развернутые ответы;

«хорошо» - на оба вопроса контрольной работы даны верные достаточно развернутые ответы;

«удовлетворительно» - на оба вопроса контрольной работы даны неполные ответы, в которых содержатся ошибки;

«неудовлетворительно» - на один (и более) вопрос контрольной работы ответ не дан, в ответах содержатся существенные ошибки.

- **коллоквиум**, оценка за который по четырехбалльной шкале выставляется по следующим критериям:

«отлично» - на оба вопроса билета, а также на дополнительные вопросы преподавателя даны верные развернутые ответы;

«хорошо» - на оба вопроса билета, а также на дополнительные вопросы преподавателя даны верные достаточно развернутые ответы;

«удовлетворительно» - на оба вопроса билета, а также на дополнительные вопросы преподавателя даны неполные ответы, в которых содержатся ошибки;

«неудовлетворительно» - на один (и более) вопрос билета, а также на до-

полнительные вопросы преподавателя ответ не дан, в ответах содержатся существенные ошибки.

### **самостоятельной работы студентов**

Контроль самостоятельной работы студентов на лекционных и практических занятиях осуществляется по методикам, описанным выше.

## 7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

<b>Тип занятий</b>	<b>Тип помещения</b>	<b>Требования к помещению</b>	<b>Требования к программному обеспечению</b>
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, меловая/маркерная доска	
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, меловая/маркерная 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>