

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)

Утверждаю:



Проректор по учебной работе

Павлов В. Н.

2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
«ОСНОВЫ НЕЛИНЕЙНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ»  
для подготовки аспирантов  
по направлению  
03.06.01 – «Физика и астрономия»  
по направленности «Акустика»

Санкт-Петербург

2016

## СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

№ учебного плана:	4903060	
	4903100	
	5903030	5903033
	5903060	
	5903100	
	6903060	
	6903100	
Обеспечивающий факультет:	ФИБС	ФИБС
Обеспечивающая кафедра:	ЭУТ	ЭУТ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	3	3
Курс	1	1
Семестр	2	2
<b>Виды занятий</b>		
Лекции (академ. часов)	36	2
Все аудиторные (контактные) занятия (академ. часов)	36	2
Самостоятельная работа (академ. часов)	72	106
Всего (академ. часов)	108	108
<b>Вид промежуточной аттестации</b>		
Дифференцированный зачет (семестр)	2	2

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭУТ 28.06.2016, протокол №9.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией факультета ИБС 31.08.2016, протокол № 9.

**АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«ОСНОВЫ НЕЛИНЕЙНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ»**

Дисциплина знакомит аспирантов с основными принципами и методами применения методов нелинейной акустики для исследования свойств твердых тел и для использования нелинейных эффектов в новых технических устройствах.

**SUMMARY**  
**«FUNDAMENTALS OF THE NONLINEAR ACOUSTIC DIAGNOSTICS»**

The discipline acquaints graduate students with the basic principles and methods of application of methods of nonlinear acoustics to study the properties of solids and the nonlinear effects in the new technical devices.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Изучение основных понятий о линейных и нелинейных физических и технических системах.
2. Формирование представлений о причинах и физических механизмах, приводящих к отклонению систем от линейности и к появлению нелинейных эффектов в твердых средах.
3. Получение знаний о нелинейных методах акустической диагностики.
4. Освоение умений и навыков использования нелинейных эффектов в приборостроении.

Перечень компетенций, в формировании которых участвует дисциплина, приведен в матрице компетенций, прилагаемой к ОПОП.

Настоящая программа составлена на основе «Программы кандидатских экзаменов по истории и философии науки, иностранному языку и специальным дисциплинам», утвержденной приказом Минобрнауки России от 8 октября 2007 г. № 274 (зарегистрирован Минюстом России 19 октября 2007 г., регистрационный № 10363).

## МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина «Основы нелинейной акустической диагностики» относится к вариативной части ОПОП. Дисциплина преподается на основе знаний, полученных при освоении программы специалитета и/или магистратуры, и является фундаментом для подготовки к государственной итоговой аттестации и защите выпускной научно-квалификационной работы (диссертации).

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**Введение** (6 академ. часов).

Содержание, цель и значение дисциплины в подготовке аспирантов, ее связь с другими дисциплинами и подготовкой кандидатской диссертации. Понятие о линейных и нелинейных физических и технических системах. Физические механизмы нелинейных эффектов.

**Тема 1. Линейные и нелинейные колебательные системы с сосредоточенными параметрами** (6 академ. часов).

Линейные колебательные системы. Простой гармонический осциллятор. Линейное приближение. Колебания с затуханием и вынужденные колебания. Отклонения колебаний от линейности. Понятие о фазовой плоскости. Консервативные и неконсервативные силы. Автоколебания. Вынужденные колебания.

**Тема 2. Упругие волны в сплошных средах** (12 академ. часов).

Линейные волны. Уравнения гидродинамики. Термодинамические уравнения состояния системы. Простые волны Римана. Скорость фронта ударной волны. Местоположение фронта ударной волны. Образование разрыва, расстояние образования разрыва. Уравнение для простых волн. Массовая скорость пилообразной волны в разрыве. Амплитуда массовой скорости пилообразной волны в разрыве. Спектр пилообразной волны. Спектр искаженной синусоидальной волны. Формула Бесселя-Фубини.

**Тема 3. Упругие волны в средах с затуханием** (12 академ. часов).

Понятие о диссипации энергии в линейном и в нелинейном случаях. Уравнение Бюргерса. Относительное влияние нелинейности и затухания. Решения уравнения Бюргерса – первое решение, появление второй гармоники. Второе стационарное решение. Третье решение, пилообразная кривая с плавным фронтом. Сведение уравнения Бюргерса к уравнению теплопроводности. Сравнение поглощения пилообразных и синусоидальных волн. Градуировка датчиков давления. Методы градуировки датчиков давления, методы калибровки.

Оптические и ультразвуковые методы измерений. Взаимодействие звуковых волн. Параметрические излучатели.

**Тема 4. Нелинейные параметры кристаллических сред (12 академ. часов).**

Основные понятия о кристаллической структуре твердых тел. Силы связи в кристаллах. Структура кристаллической решетки. Геометрические элементы кристалла. Обратная решетка.

Нелинейные свойства кристаллов. Гармоники продольных волн в кубических и тетрагональных кристаллах. Уравнения движения плоских упругих волн. Волны вдоль основных направлений в кубическом кристалле. Ультразвуковой параметр нелинейности.

**Тема 5. Нелинейная акустическая диагностика (12 академ. часов).**

Коэффициенты нелинейности среды. Методология определения нелинейных параметров в недиссипативной среде без затухания. Учет затухания. Связь дисперсии с нелинейностью. Нелинейные акустические лучи. “Неклассические” материалы.

Методы нелинейной акустики для оценки свойств твердых тел. Акустоупругий метод. Метод конечных амплитуд. Резонансный метод.

Нелинейный неразрушающий контроль.

**Тема 6. Экспериментальные акустические методы исследования линейных и нелинейных свойств твердых сред (12 академ. часов).**

Экспериментальные устройства. Методы детектирования в нелинейной акустике твердых тел. Нелинейные методы получения акустических изображений. Улучшение разрешения с помощью высших гармоник. Параметрическая визуализация акустических нелинейностей.

**Тема 7. Нестационарные процессы в линейных и нелинейных средах (12 академ. часов).**

Упругая и неупругая ползучесть. Связь ползучести с нелинейными свойствами твердых тел. Причины изменения параметров кристаллов и поликристаллов во времени. Феноменологическая теория ползучести. Значение феноменологического закона изменения параметров во времени для микродиагностики поликристаллов. Фи-

зические механизмы. Релаксационные процессы. Понятие о времени релаксации и об энергии активации процессов, ответственных за релаксационные процессы. Спектры времен релаксации и спектры энергий активации.

Экспериментальные акустические методы микродиагностики поликристаллических сред.

#### **Тема 8. Акустические течения (10 академ. часов).**

Понятие о течении жидкости в акустическом поле. Капиллярные явления. Ультразвуковой капиллярный эффект. Классификация методов капиллярного контроля. Движение жидкостей в пористых средах под действием ультразвука. Моделирование акустических потоков методом конечных элементов.

#### **Тема 9. Планирование эксперимента при акустических измерениях (12 часов).**

Основные понятия теории измерений и обработки результатов измерений. Классификация ошибок, основы теории ошибок. Частота, вероятность, среднее значение, дисперсия. Распределение вероятностей, доверительный интервал, сложение ошибок.

Сглаживание экспериментальных зависимостей, метод наименьших квадратов. Линейная и нелинейная регрессия. Методы оценки числа измерений, необходимого для получения результата с требуемой точностью. Оценка числа измерений для определения допустимых границ. Статистическая проверка гипотез.

Определение вида закона распределения значений измеряемой величины. Аналитические методы. Графические методы. Согласование эмпирического и теоретического закона распределения по критериям согласия.

Измерительные устройства. Основные блоки измерительных устройств, передаточные характеристики, динамические свойства измерительных устройств при передаче периодического сигнала и непериодического сигнала.

Понятие о планировании эксперимента при акустических измерениях. Выбор параметров оптимизации, выбор факторов, формализация отбора факторов. Факторный анализ. Дробный факторный эксперимент, выбор модели, выбор и построение матрицы планирования. Анализ модели. Принятие решения.



Заключение (2 академ. часа). Прогнозирование поведения материалов в экстремальных условиях. Перспективы применения нелинейной акустической диагностики.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№	Название, библиографическое описание	Семестр	К-во экз. в библ. (на каф.)
<b>Основная литература</b>			
1	В.М. Цаплев. Нелинейная акустоупругость пьезокерамических материалов. Часть I. Физическая акустика пьезокерамики. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – 185 с.	2	10 (10)
2	В.М.Цаплев. Нелинейная акустоупругость пьезокерамических материалов; Часть II. Акустические методы измерений. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014 – 142 с.	2	10 (10)
3	В.М. Цаплев. Нелинейные пьезокерамические материалы и малогабаритные генераторы энергии. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016 – 215 с	2	10 (10)
<b>Дополнительная литература</b>			
1	К.Е. Аббакумов, В.М. Цаплев. Волновые задачи акустических методов неразрушающего контроля. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015 – 336 с.	2	10 (10)
2	Л.К. Зарембо, В.И. Тимошенко. Нелинейная акустика. М.: Изд-во МГУ, – 104 с.	2	14(5)

Зав. отделом учебной литературы *Кисц* Т.В. Киселева  
30.10.17

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

№	Электронный адрес
1	<a href="http://infotechlib.narod.ru">http://infotechlib.narod.ru</a>
2	<a href="http://ru.wikipedia.org">http://ru.wikipedia.org</a>
3	<a href="http://old.exponenta.ru">http://old.exponenta.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 требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Описание информационных технологий и материально-технической базы приведено в УМКД дисциплины.

Конкретные формы и процедуры текущего контроля знаний и промежуточной аттестации, а также методические указания для обучающихся по самостоятельной работе при освоении дисциплины (содержащиеся в ОПОП) доводятся до сведения обучающихся на первом занятии.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

**Разработчик**

д.т.н., проф.



Цаплев В.М.

**Рецензент**

д.т.н., проф.



Юлдашев З.М.

**Зав. каф. ЭУТ**

д.т.н., проф.



Аббакумов К.Е.

**Декан ФИБС**

д.т.н., проф.

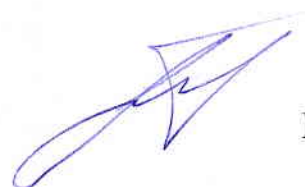


Боронахин А. М.

**Согласовано**

**Председатель УМК ФИБС**

к.т.н., доц.



Буканин В.А.

**Начальник МО**

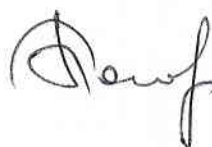
д.т.н., проф.



Грязнов А.Ю.

**Заведующий ОДА**

к.т.н., доц.



Погодин А.А.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№	Дата	Изменение	Дата заседания УМК, № прот-ла	Автор	Нач. МО
1					