

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**

**«ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ»**

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. Попкова Е.С.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭУТ  
19.11.2021, протокол № 4

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФИБС, 09.12.2021, протокол № 4

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФИБС
Обеспечивающая кафедра	ЭУТ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	6
Курс	4
Семестр	7
<b>Виды занятий</b>	
Лекции (академ. часов)	34
Лабораторные занятия (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	34
Иная контактная работа (академ. часов)	3
Все контактные часы (академ. часов)	88
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	128
Всего (академ. часов)	216
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Дифф. зачет (курс)	4
Курсовая работа (курс)	4

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ»**

В дисциплине "Электроакустические преобразователи" изучаются физические основы принципа работы преобразователей различных типов, рассматривается процесс проектирования преобразователей: выбор материала, построение электрической схемы-аналога, расчёт основных параметров и характеристик, а также обсуждается вопрос специфики преобразователей, применяемых в приборах и методах контроля качества и диагностики.

### **SUBJECT SUMMARY**

#### **«ELECTROACOUSTIC TRANSDUCERS»**

In the discipline "Electroacoustic transducers" the physical foundations of the operation principle of various types of transducers are studied, the process of transducers' designing is considered: the choice of material, the structure of an equivalent electrical circuit, the calculation of the main parameters and characteristics, and the features of the specific transducers used in devices and methods of quality control and diagnostics.

## 3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Изучение физических основ работы электроакустических преобразователей (ЭАП) различных типов; рассмотрение теории ЭАП как четырехплюсника; построение электрических схем-аналогов ЭАП; расчет основных характеристик и параметров ЭАП; рассмотрение технологических аспектов изготовления элементов ЭАП, специфики применения ЭАП для различных задач с целью формирования умений анализировать техническое задание, проектировать и конструировать типовые ЭАП в области приборов и методов контроля качества и диагностики
2. Получение знаний о физических основах работы ЭАП различных типов, теории ЭАП как четырехплюсника; развитие умения строить электрические схемы-аналоги ЭАП и проводить расчет их основных характеристик и параметров; формирование понимания технологических аспектов изготовления элементов ЭАП и специфики их применения в области приборов и методов контроля качества и диагностики
3. Знание физических основ работы ЭАП различных типов; знание теории ЭАП как четырехплюсника; знание основных характеристик и параметров ЭАП; знание технологических аспектов изготовления элементов ЭАП
4. Умение составлять электрические схемы-аналоги ЭАП; умение проводить расчет основных параметров и характеристик ЭАП
5. Навык выбора оптимального типа ЭАП для решения конкретной задачи контроля качества и диагностики, а также навык подбора его оптимальных параметров

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

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Математический анализ»
2. «Механика сплошных сред»
3. «Колебания и волны»
4. «Физика»
5. «Элементная база электроники»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Физические основы методов неразрушающего контроля»
2. «Волновые процессы в твердых телах»

### 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>
<i>ПК-1.2</i>	<i>Проектирует и конструирует типовые детали и узлы 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	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	1				2
2	Классификация ЭАП, их основные характеристики и параметры	1				2
3	Теория ЭАП как n-полюсника	2	2			6
4	Составление электрических схем-аналогов ЭАП	2	2			6
5	Пьезоэлектрические преобразователи	6	6	12	3	34
6	Электростатические преобразователи	4	6			15
7	Электродинамические преобразователи	4	6	4		21
8	Электромагнитные преобразователи	4	6			15
9	Магнитострикционные преобразователи	4	6			15
10	ЭМА преобразователи	2				4
11	Необратимые преобразователи	1				2
12	Специфика ЭАП, применяемых в области неразрушающего контроля и в области гидроакустики	2			0	4
13	Заключение	1		1	0	2
	Итого, ач	34	34	17	3	128
	Из них ач на контроль	0	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	216/6				

#### 4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Цели и задачи дисциплины. Современное состояние вопроса и перспективы развития
2	Классификация ЭАП, их основные характеристики и параметры	Классификация ЭАП. Основные характеристики и параметры
3	Теория ЭАП как n-полюсника	ЭАП как четырехполюсник (преобразователь с одной механической стороной): режим излучения/режим приема, соотношение взаимности. Преобразователь как шестиполюсник (преобразователь с двумя механическими сторонами): режим излучения/режим приема, соотношение взаимности.



<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
4	Составление электрических схем-аналогов ЭАП	Общие принципы составления электрических схем-аналогов ЭАП и их расчета
5	Пьезоэлектрические преобразователи	Физические основы принципа работы, уравнения пьезоэффекта. Типы пьезоэлементов, материалы и технология их изготовления (пьезокристаллы и пьезокерамика). Коэффициент электромеханической связи. Схема-аналог. Расчет параметров
6	Электростатические преобразователи	Физический принцип работы. Основные варианты типовой конструкции. Квадратичный и поляризованный преобразователи. Соотношение взаимности. Работа в режиме излучения/приема. Схема-аналог. Расчет параметров
7	Электродинамические преобразователи	Физический принцип работы. Типичные конструкции. Работа в режиме излучения/приема. Соотношения взаимности. Коэффициент электромеханической связи. Схема-аналог. Расчет параметров
8	Электромагнитные преобразователи	Принцип действия. Типовые конструкции. Квадратичный преобразователь. Линеаризация преобразователя. Работа в режиме излучения/приема. Соотношения взаимности. Коэффициент электромеханической связи. Схема-аналог. Расчет параметров
9	Магнитострикционные преобразователи	Физические основы принципа работы - пьезомагнетизм и магнитострикция. Основные типы и конструкции. Схема-аналог. Расчет параметров
10	ЭМА преобразователи	Физические основы принципа работы. Применение в области неразрушающего контроля. Преимущества и недостатки по сравнению с пьезоэлектрическими преобразователями
11	Необратимые преобразователи	Угольный микрофон. Пьезорезистивные полупроводниковые приемники звука. Конденсаторные приемники звука и вибраций. Акустооптические преобразователи
12	Специфика ЭАП, применяемых в области неразрушающего контроля и в области гидроакустики	Специфика разработки конструкции ЭАП, применяемых в неразрушающем контроле и гидроакустических системах
13	Заключение	Применение ЭАП в различных областях науки и техники

## 4.2 Перечень лабораторных работ

<b>Наименование лабораторной работы</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
1. Исследование ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя по входной проводимости	4
2. Исследование чувствительности пьезокерамического приемника в зависимости от характера и значения электрической нагрузки	4

<b>Наименование лабораторной работы</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
3. Исследование импульсного режима работы ультразвукового пьезопреобразователя	4
4. Измерение КПД преобразователей ваттметровым методом	5
Итого	17

### 4.3 Перечень практических занятий

<b>Наименование практических занятий</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
1. Пьезоэлектрические преобразователи	10
2. Электростатические преобразователи	6
3. Электродинамические преобразователи	6
4. Электромагнитные преобразователи	6
5. Магнитострикционные преобразователи	6
Итого	34

### 4.4 Курсовое проектирование

Цель работы (проекта): Целью курсовой работы является закрепление полученных теоретических знаний, а также развитие умений и навыков самостоятельного расчета параметров и характеристик ЭАП различных типов.

Содержание работы (проекта): Курсовая работа должна содержать построенную электрическую схему-аналог для указанного в индивидуальном варианте задания типа преобразователя, ее расчет и определение параметров и частотных характеристик чувствительности преобразователя в режиме излучения и/или приема в соответствии с индивидуальным заданием студента.

Форма сдачи курсовой работы включает представление пояснительной записки в печатном виде, а также устную защиту с ответами на вопросы преподавателя по теме индивидуального варианта задания. Методика выставления оценки приведена в соответствующем разделе методики текущего контроля рабочей программы.

Оформление курсовой работы -согласно ГОСТ 7.32-2017 Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформ-

ления.

Рекомендуемый объем пояснительной записки -20-25 страниц, рекомендуемое количество использованных источников -5-10.

Примерные темы:

№ п/п	Название темы	Перевод темы
1	Расчет характеристик электроакустического преобразователя	Calculation of the Characteristics of Electroacoustic Transducer

#### **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 рабо-

ты, 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	28
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	30
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	0
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	35
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	35
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>128</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	Электроакустические преобразователи [Текст] : Метод. указания к практ. занятиям по одноим. дисциплине / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2001. -32 с	неогр.
2	Электроакустические преобразователи [Текст] : метод. указания к лаб. работам / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2005. -32 с.	неогр.
3	Кузьменко, Андрей Григорьевич. Приемники и источники звука [Текст] : Учеб. пособие / А.Г.Кузьменко, А.В.Харитонов, 1991. -70 с. с.	77
Дополнительная литература		
1	Бушер, Михаил Константинович. Методы расчета параметров гидроакустических пьезокерамических преобразователей [Текст] : учеб. пособие / М.К. Бушер, 2010. -98 с.	14
2	Ультразвуковые пьезопреобразователи для неразрушающего контроля [Текст] / [И.Н. Ермолов [и др.]] ; под общ. ред. И.Н. Ермолова, 1986. - 278 с.	27
3	Электроакустические преобразователи [Текст] / В. М. Шарапов, И. Г. Минаев, Ж. В. Сотула, Л. Г. Куницкая ; под общ. ред. В. М. Шарапова, 2013. -293 с.	18
4	Свердлин, Григорий Михайлович. Прикладная гидроакустика [Текст] : [учеб. пособие для вузов по специальности "Физические методы и приборы интроскопии"] / Г.М. Свердлин, 1990 . -319 с.	32

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

№ п/п	Электронный адрес
1	Официальный сайт ЗАО "Ультракraft" <a href="https://www.ultrakraft.ru/ru/">https://www.ultrakraft.ru/ru/</a>
2	Официальный сайт ООО "Аврора-ЭЛМА" <a href="https://avrora-elma.ru/">https://avrora-elma.ru/</a>
3	Просветительский проект "Инженерные решения" <a href="https://engineering-solutions.ru/ultrasound/piezomaterials/">https://engineering-solutions.ru/ultrasound/piezomaterials/</a>

### **5.3 Адрес сайта курса**

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=9008>

## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Электроакустические преобразователи» 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

Промежуточная аттестация осуществляется в виде зачета с оценкой и проходит в форме коллоквиума с выдачей билета, письменного и устного ответа на него, а также устным ответом на вопросы преподавателя по всему курсу.

Для допуска к процедуре промежуточной аттестации в форме зачета с оценкой студенту необходимо выполнить и защитить четыре лабораторные работы, а также выполнить курсовую работу и защитить ее на положительную оценку.

Критерии выставления оценки по каждому из элементов для допуска к промежуточной аттестации приведены в методике текущего контроля.

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

### Примерные вопросы к дифф.зачету

№ п/п	Описание
1	Классификация ЭАП, физические принципы работы различных типов ЭАП
2	Основные характеристики и параметры ЭАП
3	ЭАП как n-полюсник
4	Режим излучения/приема ЭАП
5	Принцип работы и типовая конструкция пьезоэлектрического преобразователя
6	Принцип работы и типовая конструкция электростатического преобразователя
7	Принцип работы и типовая конструкция электродинамического преобразователя
8	Принцип работы и типовая конструкция электромагнитного преобразователя
9	Принцип работы и типовая конструкция магнитострикционного преобразователя
10	Принцип работы и типовая конструкция ЭМА преобразователя

### 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 **Электроакустические преобразователи** ФИБС

1 Материалы и технология изготовления пьезоэлементов пьезоэлектрических преобразователей

2 ЭМА преобразователи

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

К.Е. Аббакумов

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
9	Пьезоэлектрические преобразователи	
10		Отчет по лаб. работе
11	Пьезоэлектрические преобразователи	
12		Отчет по лаб. работе
13	Пьезоэлектрические преобразователи	
14		Отчет по лаб. работе
15	Электродинамические преобразователи	Отчет по лаб. работе
16	Пьезоэлектрические преобразователи Электростатические преобразователи Электродинамические преобразователи Электромагнитные преобразователи Теория ЭАП как n-полюсника Составление электрических схем-аналогов ЭАП	Защита КР / КП
17	Введение Классификация ЭАП, их основные характеристики и параметры Теория ЭАП как n-полюсника Составление электрических схем-аналогов ЭАП Пьезоэлектрические преобразователи Электростатические преобразователи Электродинамические преобразователи Электромагнитные преобразователи Магнитострикционные преобразователи ЭМА преобразователи Необратимые преобразователи Специфика ЭАП, применяемых в области неразрушающего контроля и в области гидроакустики Заключение	Коллоквиум

### 6.4 Методика текущего контроля

#### 1. Методика текущего контроля на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя:

- Контроль посещаемости (не менее 50% занятий);
- Результаты коллоквиума (ответ по билетам), оценка за который по четырехбалльной шкале выставляется по следующим критериям:

«отлично» - 90% и более правильных ответов;

«хорошо» - 70-89% правильных ответов;

«удовлетворительно» - 50-69% правильных ответов;

«неудовлетворительно» - менее 50% правильных ответов.

Совокупность оценок, полученных студентом в результате упомянутых выше мероприятий текущего контроля, учитывается преподавателем при формировании оценки в ходе промежуточной аттестации в форме дифференцированного зачета. При этом оценка по результатам текущего контроля составляет 30% от общей итоговой оценки.

## **2. Методика текущего контроля на практических занятиях**

Текущий контроль включает в себя:

- Контроль посещаемости (не менее 50% занятий);

- Выполнение курсовой работы, оценка за которую по четырехбалльной шкале выставляется по следующим критериям:

«отлично» - задача решена правильно, студент уверенно отвечает на вопросы преподавателя по теме курсовой работы;

«хорошо» - задача решена с несущественными недочетами, студент отвечает на вопросы преподавателя по теме курсовой работы;

«удовлетворительно» - задача решена с существенными недочетами, студент частично отвечает на вопросы преподавателя по теме курсовой работы;

«неудовлетворительно» - задача решена с существенными недочетами и/или студент не отвечает на вопросы преподавателя по теме курсовой работы.

Совокупность оценок, полученных студентом в результате упомянутых выше мероприятий текущего контроля, учитывается преподавателем при формировании оценки в ходе промежуточной аттестации в форме дифференцированного зачета. При этом оценка по результатам текущего контроля составляет 40% от общей итоговой оценки.

## **3. Методика текущего контроля на лабораторных занятиях**

Текущий контроль включает в себя:

- Контроль посещаемости (не менее 50% занятий);
- Выполнение и защита 4-х лабораторных работ, оценка за которые выставляется по следующим критериям:

«зачет» - присутствует отчет по лабораторной работе и студент уверенно отвечает на вопросы преподавателя по теме лабораторной работы;

«не зачет» - отсутствует отчет по лабораторной работе и/или студент не отвечает на вопросы преподавателя по теме лабораторной работы.

Совокупность оценок, полученных студентом в результате упомянутых выше мероприятий текущего контроля, учитывается преподавателем при формировании оценки в ходе промежуточной аттестации в форме дифференцированного зачета. При этом оценка по результатам текущего контроля составляет 30% от общей итоговой оценки.

## 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, мелвая/маркерная доска	
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, лабораторные стенды	
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, мелвая/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>