

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



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«АКУСТИКА»

для подготовки аспирантов

по направлению

03.06.01 – «Физика и астрономия»,

по направленности «Акустика»

Санкт-Петербург

2016

СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

№№ учебных планов:	4903060
	5903060
	6903060
Обеспечивающий факультет:	ФИБС
Обеспечивающая кафедра:	ЭУТ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	3
Курс	4
Семестр	8

Виды занятий

Лекции (академ. часов)	2
Все аудиторные (контактные) занятия (академ. часов)	2
Самостоятельная работа (академ. часов)	106
Всего (академ. часов)	108

Вид промежуточной аттестации

Экзамен (семестр)	8
-------------------	---

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 «АКУСТИКА»

Подготовка к кандидатскому экзамену по дисциплине «Акустика» и его успешная сдача представляет собой вид деятельности аспирантов по осуществлению учебно-образовательного процесса в высшей школе, включающего проведение самостоятельной учебно-научной деятельности и исследований по теме выпускной научной квалификационной работы (диссертации) в соответствии с индивидуальным планом ее подготовки.

SUBJECT SUMMARY

«ACOUSTICS»

Preparation to candidate examination on the subject "Acoustics" and its successful completion is a type of postgraduate activity for the implementation of the educational process in higher education, including the conduct of independent educational-scientific activities and research on the theme of scientific qualification work (dissertation) in accordance with the individual plan of preparation.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель преподавания дисциплины – формирование профессиональных компетенций для последующей деятельности выпускника аспирантуры в области акустики.

1. Изучение и закрепление теоретических знаний, умений и навыков, полученных аспирантами в процессе изучения специальных дисциплин и подготовке выпускной научной квалификационной работы (диссертации).
2. Формирование творческого мышления на основе образовательной подготовки и владения полученными знаниями, умениями и навыками для самостоятельной постановки и решения научно-исследовательских задач.
3. Освоение практических навыков научно-методической работы, использования новых технологий исследования, умения структурировать и предъявлять научный материал.

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 ОПОП

Дисциплина «Акустика» относится к вариативной части ОПОП. Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «История и философия науки»
2. «Специальные разделы радиофизики»
3. «Компьютерные технологии в образовании и представлении знаний»
4. «Основы нелинейной акустической диагностики»

и обеспечивает подготовку выпускной научной квалификационной работы (диссертации).

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Введение (2 академ. час)

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

Тема 1 Гидродинамика и теория упругости (20 академ. часов)

Уравнения гидродинамики идеальной и вязкой теплопроводящей жидкости. Пределы применимости приближения сплошной среды, связь с кинетическим описанием. Акустическая, температурная и вихревая моды теплопроводящей среды. Адиабатическая и изотермическая скорости звука. Коэффициент затухания звука в среде с малыми вязкостью и теплопроводностью. Сжимаемая и несжимаемая жидкость. Потенциальные и вихревые течения идеальной жидкости. Интегралы Бернуlli и Коши-Лагранжа. Теорема Томпсона о циркуляции скорости жидкости. Гравитационно-капиллярные волны на поверхности жидкости. Внутренние гравитационные волны в стратифицированной жидкости; частота Брента-Вяйсяля. Течения вязкой жидкости (Пуазейля, Куэтта). Затопленная струя. Пограничный слой, уравнения Прандтля. Ударные волны. Изменение параметров среды при переходе через разрыв. Ширина ударного фронта. Скорость распространения ударных волн по невозмущенной среде. Гидродинамические неустойчивости. Число Рейнольдса. Переход к турбулентности. Развитая турбулентность. Фракталы, число Фейгенбаума. Гидродинамика сверхтекучей жидкости. Второй звук. Подходы Эйлера и Лагранжа к описанию сплошной среды, основания для использования различных подходов в гидродинамике и теории упругости. Уравнения теории упругости. Закон Гука для изотропных и анизотропных тел. Линеаризация уравнений для малых возмущений. Продольные и сдвиговые волны в изотропном теле. Волны в твердых средах в присутствии границ (Рэлея, Лэмба, Лява, клиновые волны). Упругие волны в кристаллах. Волны в пьезо- и сегнетоэлектриках, магнетиках.

Тема 2 Теория колебаний и волн (22 академ. часов)

Линейные и нелинейные колебательные системы с одной степенью свободы. Явление резонанса. Импульсная переходная и частотная передаточная характеристики линейной системы. Резонатор Гельмгольца. Сферически-симметричные колебания газового пузырька в жидкости, уравнение Рэлея. Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания, теорема взаимности. Колебания периодических цепочек (точечные массы с упругим взаимодействием ближайших соседей). Акустическая и оптическая моды. Собственные и вынужденные колебания распределенных систем конечных размеров. Разложение вынужденных колебаний по собственным функциям системы (модам). Колебания недеформируемых тел, погруженных в жидкость. Сила сопротивления колебаниям сферы в идеальной и вязкой среде. Волновое уравнение (вывод из уравнений гидродинамики и теории упругости). Плоские однородные и неоднородные волны. Плотность и поток энергии. Сферические и цилиндрические волны. Пространственно-временной спектр Фурье волнового поля; его представление в виде суммы гармонических плоских волн. Отражение и преломление акустических волн на плоской границе раздела двух сред. Закон Снеллиуса. Формулы Френеля. Поле в среде при падении под углом, большем критического. Плотность и поток энергии. Акустический импеданс. Отражение от импедансной границы. Распространение волнового пакета в диспергирующей среде. Фазовая и групповая скорости. Теория дисперсии Мандельштама-Леонтовича. Физические причины появления зависимости скорости звука от частоты. Принцип Гюйгенса-Френеля. Формулы Грина и Кирхгофа. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Дифракция на круглом и прямоугольном отверстии (экране), принцип Бабине. Излучение звука пульсирующей и осциллирующей сферами. Монопольное и дипольное излучение, сопротивление излучения и присоединенная масса. Поршневой излучатель в плоском экране. Ближнее и дальнее поле. Характеристика направленности. Волны в средах с крупномасштабными неоднородностями. Приближение геометрической акустики. Уравнения эйконала, пе-

реноса, дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах. Ход лучей в подводном звуковом канале.

Тема 3 Физическая акустика (26 академ. часов)

Скорость распространения и механизмы затухания акустических волн в газах, жидкостях, твердых телах, полимерах и биотканях. Способы возбуждения и приема акустических волн в различных средах и частотных диапазонах. Электроакустические преобразователи: электродинамические, пьезоэлектрические, магнитострикционные. Электромеханические аналогии. Методы измерения характеристик акустических полей: колебательной скорости, акустического давления, скорости распространения, поглощения, интенсивности. Волны в узких трубах переменного сечения, уравнение Вебстера. Акустические волноводы (плоский слой, волноводы с прямоугольным и круглым сечением). Нормальные волны. Дифракция звука на телах канонической формы (сфера, цилиндр). Дифракция света на ультразвуке. Рассеяние звука на малых препятствиях, пузырьках газа в жидкостях и неровностях границ. Распространение звука в движущейся среде. Движущиеся источники. Эффект Доплера. Излучение при сверхзвуковом движении, переходное излучение. Флуктуации амплитуды, фазы и угла прихода луча при распространении звука в случайно-неоднородной среде. Аэродинамическая генерация звука. Уравнение Лайтхилла. Радиационное давление и акустические течения. Римановы (простые) волны. Акустическое число Маха. Искажение профилей бегущих волн, генерация гармоник. Взаимодействие плоских волн и пучков. Пилообразные волны. Нелинейное затухание и эффект насыщения. Учет вязкости. Уравнение Бюргерса. Акустическое число Рейнольдса.

Тема 4 Техническая акустика (36 академ. часов)

Излучающие и приемные электроакустические преобразователи. Метод электромеханических аналогий. Активные материалы для пьезоэлектрических и магнитострикционных преобразователей. Коэффициент электромеханической

связи. Частотные характеристики, коэффициент нелинейных искажений. Коэффициент полезного действия излучателей и помехоустойчивость приемников. Преобразователи для воздушной среды. Диффузорные и рупорные громкоговорители. Микрофоны - приемники звукового давления и градиента давления. Газодинамические источники звука, свистки, сирены. Гидродинамические излучатели и гидрофоны (приемники акустического давления и градиента давления). Типы гидроакустических антенн и формируемые ими характеристики направленности. Методы электронного формирования характеристик направленности антенных решеток и управления ими. Профиль скорости звука и структура звукового поля в океане. Подводный звуковой канал. Приповерхностный канал. Звук в мелком море. Пассивная гидролокация. Шумы океана и корабля. Выделение сигнала из помех. Оптимальная фильтрация. Уравнение дальности, методы и точность пеленгования. Активная гидролокация. Отражение звука корпусом и кильватерным следом корабля. Виды зондирующих сигналов, их оптимальная обработка в присутствии шумовой и реверберационной помех. Параметрические излучающие и приемные антенны, их основные характеристики. Методы гидроакустической связи, навигации, рыболокации, съемки рельефа дна, определения глубины места и абсолютной скорости движения. Механические, аэrodинамические и гидродинамические источники шумов. Транспортные шумы. Звукопоглощение и звукоизоляция. Звукопоглощающие материалы и конструкции для воздушной среды. Пористые материалы, резонансные поглотители. Активные методы подавления шума. Статистическая и волновая теория акустики помещений. Оптимальное время реверберации. Акустика больших помещений (неравномерность поля, искажения нестационарных сигналов, явление эхо) и методы ее улучшения. Методы акустических измерений и калибровки преобразователей. Специальные помещения и установки для измерений в воздухе и в воде. Заглушенная камера, заглушенный гидробассейн. Ультразвуковые технологии (осаждение аэрозолей, очистка поверхностей, дегазация жидкостей, эмульгирование, обработка материалов, сварка). Ультразвуковая медицинская диагностика. Интенсивный ультразвук в т-

рапии и хирургии. Ультразвуковые методы измерений и неразрушающего контроля. Дефектоскопия промышленных изделий, строительных материалов и конструкций. Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конволверы, запоминающие устройства). Возбуждение и прием поверхностных акустических волн (ПАВ), устройства обработки сигналов на ПАВ. Взаимодействия света со звуком. Дифракция Брэгга и Рамана-Ната. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, преобразователи свет-сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.

Заключение (2 академ. час)

Перспективы развития дисциплины, методов расчета и исследований, основные направления.

Реферат

Реферат по выбранной теме направлен на закрепление знаний, полученных аспирантами при изучении дисциплин учебного плана, а также – на приобретение навыков работы аспирантов с научной литературой, в том числе находящейся в базах данных интернет. Тема реферата согласовывается с научным руководителем аспиранта.

Оформление подготовленных рефератов осуществляется в соответствии с ГОСТ 7.32-2001 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

Примерные темы рефератов:

1. «Методы и способы регистрации полезного сигнала на фоне коррелированной и случайной помехи (Methods and ways of registration of the useful signal on the background of correlated and random noise)»

2. «Методы возбуждения и области применения поверхностных акустических волн (Excitation methods and applications of surface acoustic waves)»
3. «Особенности распространения акустических волн в волноводе Пекериса (Peculiarities of propagation of acoustic waves in a waveguide of Pekeris)»
4. «Принципы построения широкополосных гидроакустических преобразователей (Principles of building broadband underwater transducers)»
5. «Способы формирования коротких акустических сигналов для целей дефектоскопии (Methods of generation of short acoustic signals for the purpose of non-destructive testing)»
6. «Методы и принципы, используемые при разработке экранирующих устройств и построении безэкраных гидроакустических преобразователей (Methods and principles used in the development of screening devices and building baffles monodirected underwater transducers)»
7. «Использование ультразвука в медицине: диагностика, лечение, хирургия (The use of ultrasound in medicine: diagnosis, treatment, surgery)»

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.)
Основная литература			
1	Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов, т. 6: Гидродинамика, М., Наука, 1986, 733 с.	8	3 (4)
2	Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов, т. 7: Теория упругости, М., Наука, 1987, 247 с.	8	2 (4)
3	Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику: М., Физматлит, 2008, 655 с.	8	5 (5)
4	Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн: Учеб. пособие для физ. специальностей вузов, М., Наука, 1990, 432 с.	8	9 (4)
5	Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику: Учебное пособие, М., Наука, 1984, 403 с.	8	122 (3)
6	Скучик Е. Основы акустики: т. 1 и 2, М., Мир, 1976, 520 с.	8	10 (5) 8 (5)
7	Исакович М.А. Общая акустика: Учеб. пособие, М., Наука, 1973, 495 с.	8	22 (5)
8	Урик Р.Дж. Основы гидроакустики: Л., Судостроение, 1980. 445 с.	8	23 (5)
Дополнительная литература			
1	Кайно Г. Акустические волны: Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов: М., Мир, 1990, 656 с.	8	2(6)
2	Лепендин Л.Ф. Акустика: Учеб. пособие для втузов, М., Высшая школа, 1978, 448 с.	8	148 (4)
3	Зарембо Л.К., Тимошенко В.И. Нелинейная акустика: М., Изд-во МГУ, 1984, 102 с.	8	14 (2)
4	Свердлин Г.М. Прикладная гидроакустика: Учеб. пособие, Л., Судостроение, 1990, 320 с.	8	32 (5)
5	Клещев А.А., Клюкин И.И. Основы гидроакустики: Л., Судостроение, 1987, 224 с.	8	3 (5)
6	Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля: М., Машиностроение, 2006, 368 с.	2	14 (4)

7	Шендеров Е.Л. Излучение и рассеяние звука: Л., Судостроение, 1989, 301 с.	8	23 (2)
8	Бреховских Л.М., Годин О.А. Акустика слоистых сред: М., Наука, 1989, 412с	8	3 (5)
9	Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики: М., Радио и связь, 1985, 279 с	8	3 (5)
10	Иоффе В.К., Корольков В.Г., Сапожков М.А. Справочник по акустике: М., Связь, 1979, 310 с.	8	5 (5)
11	Вахитов Ш.Я., Ковалгин Ю.А., Фадеев А.А., Щевьев Ю.П. Акустика: Учеб. для вузов, М, Горячая линия-Телеком, 2009, 660 с.	8	16 (5)

Зав. отделом учебной литературы

Киселева
30. 10.14.

Т.В. Киселева

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети

«Интернет», используемых при освоении дисциплины

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

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.

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине и методика текущего контроля содержатся в учебно-методическом комплексе дисциплины.

Конкретные формы и процедуры текущего контроля знаний и промежуточной аттестации, включая перечень экзаменационных вопросов, а также методические указания для обучающихся по самостоятельной работе при освоении дисциплины, размещены на сайте кафедры.

ний дисциплин (содержащиеся в ОПОП) доводятся до сведения обучающихся на первом занятии.

Ак-ка

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчик

к.т.н., доц.



Степанов Б.Г.

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

д.т.н., проф.



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					