

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики  
Российской академии наук» (ИПФ РАН)

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора по научной работе

М.Ю. Глявин



« 15 » апреля 2022г.

## Рабочая программа дисциплины

### Акустика

---

Уровень образования

высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

Научная специальность

1.3.7. Акустика

(шифр, наименование)

Форма обучения

очная

Нижний Новгород  
2022

## 1. Место и цели дисциплины в структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Дисциплина «Акустика» относится к числу специальных дисциплин программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программы аспирантуры), является обязательной для освоения и изучается на третьем году обучения, в пятом семестре.

Основными целями освоения дисциплины являются формирование у аспирантов современных представлений об основных методах описания и исследования акустических процессов в жидкостях газах и твердых телах, углубление навыков практического использования низкочастотной акустики, нелинейной акустики, необходимые для решения некоторых прикладных задач (акустическое проектирование, неразрушающий контроль материалов, задачи акустической диагностики и томографии океана и др.), которые возникают при работе радиофизиков-исследователей в НИИ и на производстве (судостроение, медицина, машиностроение).

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Аспирант, освоивший дисциплину «Акустика», должен:

Знать основные уравнения акустики, специфику распространения акустических волн в различных средах: жидкость, газ, твердое тело.

Уметь пользоваться основными подходами для расчета процесса распространения, поглощения звуковых волн разной интенсивности и разного частотного диапазона в жидкостях газах и твердых телах.

Уметь применять полученные в области акустики знания для решения практических, в том числе и научно-инновационных, задач.

Владеть навыками решения задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях общей акустики.

По результатам освоения дисциплины «Акустика» аспиранты сдают кандидатский экзамен по научной специальности 1.3.7. Акустика.

## 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 114 часов, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов – подготовка к сдаче кандидатского экзамена, 44 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 1:

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	в том числе			Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Контактная работа, часов			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Основные уравнения акустики, скорость звука, поглощение и дисперсия звука	18	8		8	10
Звуковые волны в движущейся и неоднородной среде. Геометрическая акустика Сферические волны	16	6		6	10
Волноводное распространение звука. Звукопроводы	14	6		6	8

Элементы теории упругости. упругие волны в твёрдых телах	14	6		6	8
Нелинейные эффекты в теории волн	14	6		6	8
<b>Аттестация по дисциплине – кандидатский экзамен</b>				2	36
<b>Итого</b>	<b>114</b>				

### Содержание дисциплины

#### **Основные уравнения акустики, скорость звука, поглощение и дисперсия звука**

- 1.1. Нелинейные уравнения механики сплошных сред. Идеальная сжимаемая жидкость, газ, твердое тело.
- 1.2. Уравнения линейной акустики идеальной среды.
- 1.3. Плоская волна - однородная и неоднородная. Излучение плоских волн.
- 1.4. Величины второго порядка в линейной акустике.
- 1.5. Различные механизмы поглощения звука.
- 1.6. Линейные уравнения акустики вязкой и теплопроводящей среды

#### **Звуковые волны в движущейся и неоднородной среде. Геометрическая акустика. Сферические волны**

- 2.1 Уравнения акустики движущихся сред.
- 2.2 Волновое уравнение в плавно неоднородной среде. Геометрическая акустика. Уравнение эйконала. Уравнение луча.
- 2.3 Рефракция лучей в неоднородной среде. Распространение звука в слоистой атмосфере.
- 2.4 Обобщенный закон Декарта-Снеллиуса.
- 2.5 Приближение ВКБ. Сферически симметричные решения волнового уравнения.
- 2.6 Объемная скорость. Импеданс сферической волны.
- 2.7 Акустический диполь.

#### **Волноводное распространение звука. Звуководы**

- 3.1 Поле в идеальном плоском волноводе.
- 3.2 Волновое уравнение в узкой трубе.
- 3.3 Звуковое поле в широких трубах.
- Отражение звука на концах отрезков труб.
- 3.4 Звуковое поле в трубах с непрерывно изменяющимся сечением. Рупоры.

#### **Элементы теории упругости. упругие волны в твёрдых телах**

- 4.1 Основные виды деформаций упругих тел. Законы линейной теории упругости.
- 4.2 Волны в стержнях.
- 4.3. Волны в упругих средах.

#### **Нелинейные эффекты в теории волн**

- 5.1. Нелинейные однородные волны.
- 5.2. Параметр нелинейности жидкости, газа
- 5.3. Генерация второй гармоники в средах без дисперсии.
- 5.4. Решение Римана. Ударные волны.

#### **4. Образовательные технологии**

Основными видами образовательных технологий дисциплины «Акустика» являются занятия лекционного типа и самостоятельная работа обучающегося. Аспирантам даются задания по самостоятельной подготовке материалов по тематике занятий, которые впоследствии обсуждаются с научными руководителями. При необходимости организуются групповые и индивидуальные консультации обучающихся с руководителем образовательной программы.

## 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки ИПФ РАН, в компьютерном классе с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе дисциплины и контролируется научным руководителем аспиранта. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, доступные ресурсы в Интернет по тематике курса, а также конспекты и презентации лекций.

## 6. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Акустика» проводится в форме кандидатского экзамена по научной специальности 1.3.7. Акустика с оценкой по следующей шкале: «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично»). Кандидатский экзамен сдается по совокупности всех освоенных за время обучения специальных дисциплин.

### Критерии оценок:

Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Аспирант дает полный и развернутый ответ на все заданные теоретические вопросы; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированное решение сформулированной задачи с незначительными недочетами, способен успешно решить дополнительную задачу. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Хорошо	В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Аспирант дает полный ответ на все заданные теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полное решение сформулированной задачи с некоторыми недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 90%.
Удовлетворительно	Минимально достаточный уровень подготовки. Аспирант показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированное решение сформулированной задачи. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.
Неудовлетворительно	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Аспирант дает ошибочные ответы, как на заданные теоретические вопросы, так и на ведущие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решение сформулированной задачи с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владении методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.

## Вопросы по программе кандидатского экзамена

1. Уравнения гидродинамики идеальной и вязкой теплопроводящей жидкости. Пределы применимости приближения сплошной среды. Подходы Эйлера и Лагранжа к описанию сплошной среды.
2. Уравнения теории упругости. Линейное приближение, закон Гука для изотропных и анизотропных тел. Продольные и сдвиговые волны в изотропном теле.
3. Упругие волны в твердых средах в присутствии границ раздела (волны Рэлея, Лэмба, Лява, клиновые волны).
4. Колебания в периодических цепочках, состоящих из точечных масс с упругим взаимодействием ближайших соседей. Акустическая и оптическая моды колебаний.
5. Волновое уравнение (вывод из уравнений гидродинамики и теории упругости). Плоские однородные и неоднородные звуковые волны. Плотность и поток энергии в волне.
6. Сферические и цилиндрические звуковые волны. Пространственно-временной спектр волнового поля.
7. Скорость распространения и механизмы затухания акустических волн в газах, жидкостях, твердых телах, полимерах и биотканях.
8. Отражение и преломление акустических волн на плоской границе раздела двух сред. Формулы Френеля.
9. Акустический импеданс. Отражение звука от импедансной границы.
10. Распространение волнового пакета в диспергирующей среде. Фазовая и групповая скорости. Физические механизмы зависимости скорости звука в среде от частоты.
11. Принцип Гюйгенса—Френеля в теории дифракции звука. Метод Кирхгофа. Звуковое поле в зонах Френеля и Фраунгофера.
12. Дифракция звука на телах канонической формы конечных волновых размеров (на сфере, цилиндре).
13. Дифракция света на ультразвуке. Принципы работы акустооптических преобразователей.
14. Излучение звука пульсирующей и колеблющейся сферами. Монопольное и дипольное излучение. Сопrotивление излучению и присоединенная масса.
15. Монопольные и дипольные колебания пузырька в жидкости в поле звуковой волны. Дисперсионные характеристики и рассеяние звуковых волн в жидкости с пузырьками газа.
16. Звуковые волны в средах с крупномасштабными неоднородностями. Приближение геометрической акустики. Лучевые траектории в слоисто-неоднородной среде.
17. Акустические волноводы (плоский слой, волноводы с прямоугольным и круглым сечением). Нормальные волны.
18. Излучение звука движущимися источниками. Эффект Доплера. Излучение при сверхзвуковом движении, переходное излучение.
19. Плоские волны конечной амплитуды. Римановы (простые) волны. Акустическое число Маха. Формирование ударного фронта, генерация гармоник.
20. Звуковые волны конечной амплитуды в вязкой среде. Уравнение Бюргерса. Акустическое число Рейнольдса.
21. Нелинейные акустические пучки. Уравнение Заболотской-Хохлова. Нелинейность, дифракция и диссипация в интенсивных звуковых пучках.
22. Нелинейное усиление и рассеяние звука на звуке. Параметрические излучатели звука, основные режимы их работы, предельные характеристики. Параметрические приемники.

23. Акустическая нелинейность структурно-неоднородных сред, физические механизмы аномально высокой нелинейности таких сред.
24. Профиль скорости звука в океане. Подводный звуковой канал. Методы описания звукового поля точечного источника в подводном канале. Специфика распространения звука в глубоком океане и в мелком море.
25. Дальнее распространение звука в реальном океане. Лучевой и модовый подходы в описанию статистических эффектов распространения. Рассеяние звука на ветровых волнах, неровностях рельефа дна, объемных неоднородностях (основные эффекты).
26. Метод малых возмущений (борновское приближение) в теории рассеяния звука. Параметр Рэлея. Индикатрисы рассеяния звука на крупномасштабных и мелкомасштабных неоднородностях. Затухание среднего поля.
27. Принципы действия гидроакустических излучателей. Пьезокерамические, электродинамические, электромагнитные излучатели: диапазоны частот, сравнительные характеристики.
28. Механические, аэродинамические и гидродинамические источники шумов. Вибрации. Методы звуко- и виброизоляции. Акустические заглушенные камеры.
29. Характеристики направленности гидроакустических антенн и антенных решеток. Управление диаграммой направленности в антенных решетках. Фазированные антенные решетки.
30. Пассивная и активная гидролокация. Уравнение гидролокации. Выделение сигнала из помех. Согласованная и оптимальная фильтрация.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. В. А. Зверев. Избранные труды (К 80-летию со дня рождения ), Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2004, 432 стр. – 4 экз.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. М.: Наука. - 736 стр. – 7 экз.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т. VII. Теория упругости. М.: Наука. -264 стр. – 4 экз.

б) дополнительная литература:

1. Ю.М. Заславский, Изучение сейсмических волн вибрационными источниками, Нижний Новгород, ИПФ РАН, 2007, 200 стр. – 3 экз.
2. В.И. Турчин, Введение в современную теорию оценки параметров сигналов ( моногр .). Новгород, ИПФ РАН, 2005, 116 стр. – 1 экз.
3. L. Dolin, G. Gilbert, I. Levin, A. Luchinin, Theory of imaging through wavy sea surface, Nizhniy Novgorod 2006. – 3 экз.
4. Рэлей. Теория звука. Т.2. М.: Гостехиздат, 1955. – 3 экз.
5. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973. – 343 стр. – 1 экз.
6. Блохинцев Д.И. Акустика неоднородной движущейся среды. М.: Наука, 1982. – 3 экз.
7. Акустика в задачах. Учеб. рук-во. / Под ред. С.Н.Гурбатова и О.В.Руденко. М.: Наука, 1996. - 336 стр. – 3 экз.
8. В.В. Гончаров, В.Ю. Зайцев., В.М. Куртепов, А.Г. Нечаев, А.И. Хилько. «Акустическая томография океана» [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/img/ato.pdf>
9. Сборник научных трудов «Нелинейная акустика. Теоретические и экспериментальные исследования» Редактор Н.А. Городецкая. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/img/na.pdf>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- Специальные помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет";
- Лицензионное программное обеспечение (*Windows, Microsoft Office*);
- Обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются (при необходимости) электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Автор

\_\_\_\_\_И.А. Соустова

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**  
кандидатского экзамена по специальности  
**1.3.7. Акустика**  
по физико-математическим наукам

**Введение**

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: гидродинамика и теория упругости, теория колебаний и волн, физическая акустика, техническая акустика. Программа разработана экспертным советом по физике Высшей аттестационной комиссии при участии Акустического института им. акад. Н.Н.Андреева и МГУ им. М.В.Ломоносова.

**I. Гидродинамика и теория упругости**

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

**II. Теория колебаний и волн**

1. 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 Релея.
2. Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания, теорема взаимности.
3. Колебания периодических цепочек (точечные массы с упругим взаимодействием ближайших соседей). Акустическая и оптическая моды.

4. Собственные и вынужденные колебания распределенных систем конечных размеров. Разложение вынужденных колебаний по собственным функциям системы (модам).
5. Колебания недеформируемых тел, погруженных в жидкость. Сила сопротивления колебаниям сферы в идеальной и вязкой среде.
6. Волновое уравнение (вывод из уравнений гидродинамики и теории упругости). Плоские однородные и неоднородные волны. Плотность и поток энергии.
7. Сферические и цилиндрические волны. Пространственно-временной спектр Фурье волнового поля; его представление в виде суммы гармонических плоских волн.
8. 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.
9. Распространение волнового пакета в диспергирующей среде. Фазовая и групповая скорости. Теория дисперсии Манделъштама-Леонтовича. Физические причины появления зависимости скорости звука от частоты.
10. Принцип Гюйгенса-Френеля. Формулы Грина и Кирхгофа. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Дифракция на круглом и прямоугольном отверстии (экране), принцип Бабиня.
11. Излучение звука пульсирующей сферой и колеблющейся сферой. Монопольное и дипольное излучение, сопротивление излучению и присоединенная масса. Поршневой излучатель в плоском экране. Ближнее и дальнее поле. Характеристика направленности.
12. Волны в средах с крупномасштабными неоднородностями. Приближение геометрической акустики. Уравнения эйконала, переноса, дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах. Ход лучей в подводном звуковом канале.

### **III. Физическая акустика**

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

#### IV. Техническая акустика

1. 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.
2. Преобразователи для воздушной среды. Диффузорные и рупорные громкоговорители. Микрофоны – приемники звукового давления и градиента давления. Газодинамические источники звука, свистки, сирены.
3. Гидродинамические излучатели и гидрофоны (приемники акустического давления и градиента давления). Гидроакустические антенны. Характеристики направленности. Методы электронного формирования характеристик направленности антенных решеток и управления ими.
4. Профиль скорости звука и структура звукового поля в океане. Подводный звуковой канал. Приповерхностный канал. Звук в мелком море.
5. Пассивная гидролокация. Шумы океана и корабля. Выделение сигнала из помех. Оптимальная фильтрация. Уравнение дальности, методы и точность пеленгования.
6. Активная гидролокация. Отражение звука корпусом и кильватерным следом корабля. Виды зондирующих сигналов, их оптимальная обработка в присутствии шумовой и реверберационной помех.
7. Параметрические излучающие и приемные антенны. Характеристики направленности.
8. Методы гидроакустической связи, навигации, рыболокации, съемки рельефа дна, определения глубины места и абсолютной скорости движения.
9. Механические, аэродинамические и гидродинамические источники шумов. Транспортные шумы.
10. Звукопоглощение и звукоизоляция. Звукопоглощающие материалы и конструкции для воздушной среды. Пористые материалы, резонансные поглотители. Активные методы подавления шума.
11. Статистическая и волновая теория акустики помещений. Оптимальное время реверберации. Акустика больших помещений (неравномерность поля, искажения нестационарных сигналов, явление эхо) и методы ее улучшения.
12. Методы акустических измерений и калибровки преобразователей. Специальные помещения и установки для измерений в воздухе и в воде. Заглушенная камера, заглушенный гидробассейн.
13. Ультразвуковые технологии (осаждение аэрозолей, очистка поверхностей, дегазация жидкостей, эмульгирование, обработка материалов, сварка).
14. Ультразвуковая медицинская диагностика. Интенсивный ультразвук в терапии и хирургии.
15. Ультразвуковые методы измерений и неразрушающего контроля. Дефектоскопия промышленных изделий, строительных материалов и конструкций.
16. Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства). Возбуждение и прием поверхностных акустических волн (ПАВ), устройства обработки сигналов на ПАВ.
17. 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.

## Рекомендуемая основная литература

1. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Гидродинамика. -М.: Наука, 1986; Теория упругости. -М.: Наука, 1987.
2. Л.М.Бреховских, В.В.Гончаров. Введение в механику сплошных сред. -М.: Наука, 1982.
3. Г.С.Горелик. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику. - М.-Л.: Гостехтеориздат, 1950.
4. В.В.Мигулин, В.И.Медведев, Е.Р.Мустель, В.Н.Парыгин. Основы теории колебаний. - М.: Наука, 1988.
5. М.Б.Виноградова, О.В.Руденко, А.П.Сухоруков. Теория волн. - М.: Наука, 1990.
6. М.А.Исакович. Общая акустика. -М.: Наука, 1973.
7. Е.Скучик. Основы акустики. -М: Мир, 1976, том 1 и 2.
8. В.А.Красильников, В.В.Крылов. Введение в физическую акустику. -М.: Наука, 1984.
9. Т.Хаясака. Электроакустика. -М.: Мир, 1982.
10. Акустика в задачах (под ред. С.Н.Гурбатова, О.В.Руденко). -М.: Наука, 1996.
11. Р.Дж.Урик. Основы гидроакустики. -Л.: Судостроение, 1980.
12. Ультразвук. Маленькая энциклопедия (под ред. И.П.Голяминой). -М.: Сов. Энциклопедия, 1979.

## Дополнительная литература

1. Д.И.Блохинцев. Акустика неоднородной движущейся среды. -М.: Наука, 1981.
2. С.В.Бирюков, Ю.В.Гуляев, В.В.Крылов, В.П.Плесский. Поверхностные акустические волны в неоднородных средах. -М.: Наука, 1981.
3. И.А.Викторов. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. -М.: Наука, 1981.
4. О.В.Руденко, С.И.Солуян. Теоретические основы нелинейной акустики. -М.: Наука, 1975.
5. К.А.Наугольных, Л.А.Островский. Нелинейные волновые процессы в акустике. - М.: Наука, 1990.
6. Л.Ф.Лепендин. Акустика. -М.: Высшая школа, 1978.
7. Г.Кайно. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. -М.: Мир, 1990.
8. А.А.Клещев, И.И.Клюкин. Основы гидроакустики. -Л.: Судостроение, 1987.
9. И.Г.Михайлов, В.А.Соловьев, Ю.П.Сырников. Основы молекулярной акустики. -М.: Наука, 1964.
10. Б.А.Агранат, М.Н.Дубровин, Н.Н.Хавский, Г.И.Эскин. Основы физики и техники ультразвука. -М.: Высшая школа, 1987.
11. В.И.Балакший, В.Н.Парыгин, Л.Е.Чирков. Физические основы акустооптики. -М.: Радио и связь, 1985.
12. В.К.Иофе, В.Г.Корольков, М.А.Сапожков. Справочник по акустике. -М.: Связь, 1979.
13. Справочник по технической акустике. - Л.: Судостроение, 1980.
14. Применение ультразвука в медицине. Физические основы (под ред. К.Хилла). -М.: Мир, 1989.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА**  
кандидатского экзамена по специальности

**1.3.7. Акустика**

Часть I. Нелинейная акустика [1-5]

**1.1 . Основные уравнения.**

Общие уравнения нелинейной акустики. Нелинейные параметры газов и жидкостей. Нелинейность морской среды. Методы измерения нелинейных параметров среды.

**1.2. Волны конечной амплитуды в идеальной и вязкой жидкости.**

Решение Римана для плоской волны. Простые волны. Отражение волн конечной амплитуды. Стоячие волны конечной амплитуды. Акустическое число Рейнольдса. Пилообразные волны. Уравнение Бюргерса, его решения. Сферические нелинейные волны: расходящиеся и сходящиеся.

**1.3. Нелинейные акустические пучки.**

Уравнение Заболотской-Хохлова. Относительное влияние нелинейности, дифракции и диссипации в интенсивных звуковых пучках. Изотропизация поля интенсивного излучателя.

**1.4. Взаимодействие акустических волн.**

Понятие о параметрических излучателях звука, основные режимы их работы, предельные характеристики. Параметрические приемники. Нелинейное усиление и рассеяние звука. Взаимодействие акустических волн в волноводах. Параметрические генераторы звука. Вынужденное рассеяние звука. Тепловая самофокусировка. Обращение волнового фронта.

**1.5. Волны в пузырьковой среде.**

Монопольные и дипольные колебания пузырька. Дисперсионные характеристики жидкости с пузырьками газа, нелинейные эффекты. Уравнение Релея. Сила Бьеркнисса. Поведение пузырька в неоднородном поле. Рассеяние звука пузырьками. Самовоздействие звука в пузырьковой среде.

**1.6. Нелинейная акустика твердых тел.**

Основы классической нелинейной теории упругости. Модули третьего порядка. Физическая и геометрическая нелинейность. Взаимодействие акустических волн в твердых телах. «Неклассическая» акустическая нелинейность структурно- неоднородных сред. Основные типы нелинейных взаимодействий в таких средах.

Часть II. Статистические явления при распространении звука в океане. [6-9]

**2.1. Физические факторы, ответственные за стохастизацию звуковых полей в океане**

Рассеяние звука на ветровых и внутренних волнах, течениях, неровностях рельефа дна, объемных неоднородностях. Характеристики флуктуаций параметров среды: спектры ветрового волнения, спектры турбулентных флуктуаций скорости звука, показатели и индикатриссы рассеяния пассивной примеси.

**2.2. Методы анализа однократного рассеяния на объемных и поверхностных неоднородностях.**

Метод малых возмущений (борновское приближение). Параметр Рэлея. Индикатриссы рассеяния на крупномасштабных и мелкомасштабных неоднородностях. Затухание среднего поля. Селективный характер рассеяния, условие Вульфа - Брега.

Описание дифракционных эффектов с помощью модели хаотического экрана.

Применение метода геометрической оптики в среде со случайным показателем преломления. Флуктуации уровня и фазы сигнала. Регулярная и стохастическая многолучевость в подводном звуковом канале.

Рассеяние звука на плавных крупномасштабных поверхностных неоднородностях. Метод касательной плоскости (метод Кирхгофа).

**2.3. Методы теории многократного рассеяния волн.**

Метод плавных возмущений, приближение марковского процесса, уравнение Дайсона и Бете-Солпитера, уравнение переноса излучения.

Модовое описание поля в случайно-неоднородном подводном звуковом канале: уравнения для статистических моментов амплитуд нормальных волн, перераспределение звуковой энергии между модами в процессе распространения.

## **2.4. Теория поверхностной, объемной и донной реверберации.**

*Часть III. Техническая акустика. Электроакустика [10]*

**3.1. Виды электромеханического преобразования энергии.** Активные материалы для магнитострикционных и пьезоэлектрических преобразователей. Излучающие и приемные электроакустические преобразователи. Их характеристики.

**3.2. Преобразователи для воздушной и водной среды.** Диффузорные и рупорные громкоговорители, микрофоны — приемники звукового давления и градиента давления. Головные телефоны. Пневматические громкоговорители, свистки, сирены. Преобразователи для водной среды. Пакетные, стержневые и кольцевые излучатели. Электродинамические излучатели. Гидрофоны — приемники звукового давления и градиента давления. Векторно-фазовые приемники. Преобразователи для твердой среды.

**3.3. Принципы действия электромагнитных преобразователей мембранного и поршневого типов:** диапазон частот их использования; электромагнитные низкочастотные излучатели; их параметры, преимущества перед другими типами излучателей низкочастотного диапазона.

*Часть IV. Борьба с шумами и вибрациями [10-12]*

Механические, аэродинамические и гидродинамические источники шумов. Вибрации. Классификации вибраций. Понятие о нормировании шумов и вибраций.

Звукоизоляция, виброизоляция, вибропоглощение. Измерения вибраций и шумов. Понятие об использовании шумов и вибраций для диагностики состояния машин и сооружений.

*Часть V. Акустические измерения [13-16]*

**5.1. Методы измерений основных акустических параметров: звукового давления, перемещений и ускорений.** Абсолютная калибровка преобразователей. Калибровка методом взаимности. Методы калибровки звукоприемников в воздухе и в воде.

**5.2. Основы теории гидроакустических антенн.**

Характеристики направленности и выигрыш антенны. Антенные решетки. Обработка сигналов в акустических антеннах и системах вибродатчиков. Подавление помех в антенных решетках. Оптимальные и адаптивные методы. Основные эффекты статистической теории антенн. Влияние когерентных свойств сигнала на выигрыш протяженной антенны.

## **Литература**

1. Зарембо Л.К., Красильников В.А. Введение в нелинейную акустику. Москва, Наука, 1966, 520 с.
2. Наугольных К.А., Островский Л.А. Нелинейные волновые процессы в акустике. М., Наука, 1990, 237 с.
3. Бахвалов Н.С., Жилейкин Я.М., Заболотская Е.а. Нелинейная теория звуковых пучков. М., Наука, 1982.
4. Новиков Б.К., Руденко О.В., Тимошенко В.И. Нелинейная гидроакустика. Л., Судостроение, 1981.
5. В.Ю. Зайцев, С.Н. Гурбатов, Н.В. Прончатов-Рубцов, "Нелинейные акустические явления в структурно-неоднородных средах", Изд. ИПФ РАН, Н.Новгород, 2009, (268 С.)
6. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч.2. Случайные поля. М., Наука, 1978.
7. Распространение звука во флуктуирующем океане. Под ред. С.Флатте. М., Мир, 1982.
8. Чернов Л.А. Волны в случайно-неоднородных средах. М., Наука, 1975.

9. Колер В., Папаниколау Дж. К. Распространение волн в случайно-неоднородном океане. В кн. «Распространение волн и подводная акустика». Под. ред. Дж. Б. Келлера и Дж.С. Папдакиса. М., Мир, 1980.
10. Боббер Р.Дж. Гидроакустические измерения / Пер. с англ. – М.: Мир, 1974. 362 с.
11. Колесников А.Е. Акустические измерения. Л., Судостроение, 1983.
12. Колесников А.Е. Шум и вибрация. Л., Судостроение, 1988.
13. Смаришев М.Д., Добровольский Ю.Ю. Гидроакустические антенны. Справочник по расчету направленных свойств гидроакустических антенн. -- Л.: Судостроение, 1984. -- 304 с.
14. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию. -- М.: Радио и связь, 1986. -- 448 с.
15. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. М.: Наука, 1984.
16. Хаясака Т. Электроакустика. М.: Мир, 1982.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН)

**ПРОТОКОЛ**

заседания экзаменационной комиссии от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Структурное подразделение: \_\_\_\_\_

СОСТАВ КОМИССИИ:                      Председатель: \_\_\_\_\_

утвержден приказом                      Зам.председателя: \_\_\_\_\_

№ \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ г.                      Члены комиссии: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

СЛУШАЛИ:

Прием кандидатского экзамена по специальной дисциплине.

Научная специальность \_\_\_\_\_

*шифр, наименование научной специальности*

от \_\_\_\_\_

*(фамилия, имя, отчество)*

На экзамене были заданы следующие вопросы:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

ПОСТАНОВИЛИ: считать, что \_\_\_\_\_

выдержал экзамен с оценкой \_\_\_\_\_

Председатель экзаменационной комиссии: \_\_\_\_\_

Заместитель председателя: \_\_\_\_\_

Члены экзаменационной комиссии: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_