

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

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **Рабочая программа дисциплины**

### **Акустика**

---

Уровень высшего образования  
Подготовка кадров высшей квалификации

---

Направление подготовки / специальность  
03.06.01 Физика и астрономия

---

Направленность образовательной программы  
01.04.06 Акустика

---

Квалификация (степень)  
Исследователь. Преподаватель-исследователь.

---

Форма обучения  
очная

---

Нижний Новгород

20\_\_

## 1. Место и цели дисциплины в структуре образовательной программы (ОП)

Дисциплина «Акустика» относится к числу профильных дисциплин вариативной части образовательной программы, является обязательной для освоения и изучается на третьем году обучения, в пятом семестре.

**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);
- формирование у аспирантов профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» и направленностью подготовки 01.04.06 «Акустика»

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП (компетенциями выпускников)

### Планируемые результаты обучения по дисциплине

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
<b>ПК-1</b> <i>способность самостоятельно разбираться, непредвзято оценивать и оперативно ориентироваться в передовых идеях и самых последних достижениях современной физики</i> (этап освоения – завершающий)	<i>З1 (ПК-1)</i> Знать основные уравнения акустики, специфику распространения акустических волн в различных средах: жидкость, газ, твердое тело. <i>У1 (ПК-1)</i> Уметь пользоваться основными подходами для расчета процесса распространения, поглощения звуковых волн разной интенсивности и разного частотного диапазона в жидкостях газах и твердых телах. <i>В1 (ПК-1)</i> Владеть навыками решения задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях общей акустики.
<b>ПК-2</b> <i>способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя специализированные знания в области физики и астрономии, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта</i> (этап освоения – завершающий)	<i>З1 (ПК-2)</i> Знать теоретические основы организации научно-исследовательской деятельности, методы сбора информации для решения поставленных исследовательских задач, методы анализа данных, необходимых для проведения конкретного исследования. <i>У1 (ПК-2)</i> Уметь планировать, организовывать и проводить научно-исследовательские и производственно-технические исследования с применением современной аппаратуры, оборудования и компьютерных технологий, с учетом отечественного и зарубежного опыта. <i>В1 (ПК-2)</i> Владеть навыками работы на современной аппаратуре и оборудовании для выполнения физических исследований; способностью самостоятельно с применением современных компьютерных технологий анализировать, обобщать и систематизировать результаты.
<b>ПК-3</b> <i>способность свободно ориентироваться в разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в соответствии с направленностью подготовки)</i> (этап освоения – завершающий)	<i>З1 (ПК-3)</i> Знать основные разделы акустики, необходимые для решения практических, в том числе и научно-инновационных, задач. <i>У1 (ПК-3)</i> Уметь применять полученные в области акустики знания для решения практических, в том числе и научно-инновационных, задач <i>В1 (ПК-3)</i> Владеть навыками решения практических, в том числе и научно-инновационных, задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях

По результатам освоения дисциплины «Акустика» и изученных ранее специальных дисциплин (дисциплин по выбору) аспиранты сдают кандидатский экзамен по специальности 01.04.06 «Акустика».

### 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 38 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (24 часа занятия лекционного типа, 12 часов занятия семинарского типа – семинары, научно-практические занятия, в т.ч. мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов – подготовка и сдача кандидатского экзамена, 34 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

#### 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	17	6	3	9	8
Звуковые волны в движущейся и неоднородной среде. Геометрическая акустика Сферические волны	17	6	3	9	8
Волноводное распространение звука. Звукопроводы	12	4	2	6	6
Элементы теории упругости. упругие волны в твёрдых телах	12	4	2	6	6
Нелинейные эффекты в теории волн в т.ч. текущий контроль	12	4	2	6	6
<b>Аттестация по дисциплине – экзамен</b>				2	36
<b>Итого</b>				<b>108</b>	

#### Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Форма проведения занятий (лекции, семинары и т.д.)
1	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	Лекции, семинары, сам.раб.
2	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.	Лекции, семинары, сам.раб.
3	Волноводное распространение звука. Звукопрово-	3.1 Поле в идеальном плоском волноводе. 3.2 Волновое уравнение в узкой трубе.	Лекции, семинары,

	ды	3.3 Звуковое поле в широких трубах. Отражение звука на концах отрезков труб. 3.4 Звуковое поле в трубах с непрерывно изменяющимся сечением. Рупоры.	сам.раб.
4	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.	Лекции, семинары, сам.раб.
5	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.	Лекции, семинары, сам.раб.

#### 4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий дисциплины «Акустика» являются занятия лекционного типа с применением технологий интерактивного обучения (презентаций), проблемный метод изложения материала, диалоговая форма проведения занятий и самостоятельная работа аспиранта. Для активизации познавательного процесса проводятся также занятия семинарского типа: аспирантам даются задания по самостоятельной подготовке семинаров по тематике лекций, которые впоследствии представляются в виде устных презентаций с последующим обсуждением.

#### 5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

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 курса и контролируется в ходе аудиторных занятий по данной дисциплине. 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. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

##### 6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), и уровня их сформированности

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

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

Для оценивания сформированности компетенций используется промежуточная аттестация в форме кандидатского экзамена с оценкой по пятибалльной шкале («плохо», «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 наводящие 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 владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.
Плохо	Подготовка абсолютно недостаточная. Аспирант не отвечает на поставленные вопросы, демонстрирует полное непонимание сформулированной задачи. Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.

### **6.3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.**

Промежуточная аттестация в форме кандидатского экзамена проводится по программе кандидатского экзамена по специальности 01.04.06 – акустика.

Вопросы по программе кандидатского экзамена по специальности 01.04.06 – акустика приведены в приложении 2.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

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.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, направленность 01.04.06 Акустика.

Автор \_\_\_\_\_ И.А. Соустова

Ответственный за направление подготовки \_\_\_\_\_ Вл.В. Кочаровский

Рецензент \_\_\_\_\_

Программа принята на заседании Ученого совета отделения геофизических исследований и Центра гидроакустики ИПФ РАН, протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года.

Ученый секретарь ОГИиЦГ \_\_\_\_\_ М.В. Шаталина

**Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина**

**ПК-1:** Способность самостоятельно разбираться, непредвзято оценивать и оперативно ориентироваться в передовых идеях и самых последних достижениях современной физики

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения				
	1 Плохо	2 Неудовлетворительно	3 Удовлетворительно	4 Хорошо	5 Отлично
<u>Знания:</u> Знать основные уравнения акустики, специфику распространения акустических волн в различных средах: жидкость, газ, твердое тело	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания без положительного результата применения	Успешная демонстрация знаний лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины с небольшими погрешностями и неточностями	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины
<u>Умения:</u> Уметь пользоваться основными подходами для расчета процесса распространения, поглощения звуковых волн разной интенсивности и разного частотного диапазона в жидкостях газах и твердых телах	Отсутствие умений	Фрагментарное присутствие умений без положительного результата применения	Успешная демонстрация умений лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины с небольшими недочетами и неточностями	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины
<u>Навыки:</u> Владеть навыками решения задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях общей акустики	Отсутствие навыков	Фрагментарные навыки без положительного результата применения	Успешная демонстрация навыков, соответствующая базовым разделам дисциплины, с некоторыми недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины, с небольшими недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины

**ПК-2:** Способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя специализированные знания в области физики и астрономии, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения				
	1 Плохо	2 Неудовлетворительно	3 Удовлетворительно	4 Хорошо	5 Отлично
<u>Знания:</u> Знать теоретические основы организации научно-исследовательской деятельности, методы сбора информации для решения поставленных исследовательских задач, методы анализа данных, необходимых для проведения конкретного исследования.	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания без положительного результата применения	Успешная демонстрация знаний лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины с небольшими погрешностями	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины
<u>Умения:</u> Уметь планировать, организовывать и проводить научно-исследовательские и производственно-технические исследования с применением современной аппаратуры, оборудования и ком-	Отсутствие умений	Фрагментарное присутствие умений без положительного результата применения	Успешная демонстрация умений лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины с небольшими недочетами и неточ-	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины

пьютерных технологий, с учетом отечественного и зарубежного опыта.				ностями	
<u>Навыки:</u> Владеть навыками работы на современной аппаратуре и оборудовании для выполнения физических исследований; способностью самостоятельно с применением современных компьютерных технологий анализировать, обобщать и систематизировать результаты.	Отсутствие навыков	Фрагментарные навыки без положительного результата применения	Успешная демонстрация навыков, соответствующая базовым разделам дисциплины, с некоторыми недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины, с небольшими недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины

**ПК-3:** Способность свободно ориентироваться в разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в соответствии с направленностью подготовки)

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения				
	1 Плохо	2 Неудовлетворительно	3 Удовлетворительно	4 Хорошо	5 Отлично
<u>Знания:</u> Знать основные разделы акустики, необходимые для решения практических, в том числе и научно-инновационных, задач.	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания без положительного результата применения	Успешная демонстрация знаний лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины с небольшими погрешностями	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины
<u>Умения:</u> Уметь применять полученные в области акустики знания для решения практических, в том числе и научно-инновационных, задач	Отсутствие умений	Фрагментарное присутствие умений без положительного результата применения	Успешная демонстрация умений лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины с небольшими недочетами и неточностями	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины
<u>Навыки:</u> Владеть навыками решения практических, в том числе и научно-инновационных, задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях	Отсутствие навыков	Фрагментарные навыки без положительного результата применения	Успешная демонстрация навыков, соответствующая базовым разделам дисциплины, с некоторыми недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины, с небольшими недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины

## 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. Сопротивление 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 Рэля. 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.