

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

---

радиофизический  
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
президиумом Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«31» мая 2023 г. № 6

**Рабочая программа дисциплины**

**Численные методы решения задач в акустике океана**

---

Уровень высшего образования  
**магистратура**

---

Направление подготовки / специальность  
**02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные  
технологии**

---

Направленность образовательной программы  
**Автоматизация научных исследований**

---

Квалификация (степень)  
**магистр**

---

Форма обучения  
**очная**

---

Нижний Новгород  
2023 год

## 1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Численные методы решения задач в акустике океана» относится к дисциплинам по выбору вариативной части основной образовательной программы по направлению **02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии**, магистерская программа «Автоматизация научных исследований», и читается на 1 курсе (в 1 семестре) магистратуры.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- дать магистрам представление о современных задачах океанологии и гидроакустики и изучить физические основы распространения звуковых волн в океане;
- ознакомить с современными и классическими методами расчета полей гидроакустического типа в неоднородных средах;

Основное внимание уделяется подбору адекватного способа решения задачи расчета при анализе распространения звуковых волн в океанической среде.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на предшествующих уровнях образования в ходе изучения курсов «Физика», «Акустические информационные системы».

В процессе изучения дисциплины магистры должны углубить знания по теоретическим основам физики распространения звуковых волн в неоднородных средах и по основным методам расчета полей гидродинамического типа. В результате изучения данной дисциплины магистры наряду с фундаментальной подготовкой должны приобретать специальные знания, необходимые для работы в качестве исследователей в специальных и отраслевых НИИ, соответствующего профиля.

Знания, полученные в ходе изучения курса «Численные методы решения задач в акустике океана», могут служить основой для дальнейшего освоения аспирантами курсов по направленности «Автоматизация научных исследований», а также необходимы для сдачи кандидатского экзамена по направленности «Акустика».

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

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<b>ПК-1</b> способность руководить научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, в области информатики и информационных технологий (ФИИТ), и формировать их новые направления в области профессиональной деятельности	З1 (ПК-1) Знать принципы использования численного моделирования в задачах акустики океана У1 (ПК-1) Уметь использовать углубленные теоретические и практические знания в области информационных технологий и прикладной математики для решения практических задач в области распространения волн в неоднородных средах В1 (ПК-1) Владеть базовыми навыками использования численных методов для решения модельных задач акустики океана

### 3. Структура и содержание дисциплины «Численные методы решения задач в акустике океана»

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 32 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 1 час – мероприятия текущего контроля успеваемости, 75 часов составляет самостоятельная работа обучающегося).

#### Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)			В том числе																	
				Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них															Самостоятельная работа обучающегося, часы		
				Занятия лекционного типа			Занятия семинарского типа			Занятия лабораторного типа			Консультации			Всего					
	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная
Введение Современные состояния в области задач акустики океана.	4			4												4			4		
Тема 1. Методы расчета акустических полей при распространение звука в условиях мелкого моря.	16			16												16			20		
Тема 2. Распространение звука в подводном звуковом канале.	6			6												8			10		
Тема 3. Методы расчета звуковых полей в переменных по трассе акустических волноводах.	6			6												6			6		
В т.ч.текущий контроль	2			2																	
Промежуточная аттестация - Зачет																					

#### Содержание разделов дисциплины

Введение. Современные состояния в области задач акустики океана.

Тема 1. Методы расчета акустических полей при распространение звука в условиях мелкого моря.

1.1. Формулы Френеля.

1.2. Формирование поля при работе излучателя вблизи отражающей границы

интерференционная структура и диаграмма направленности.

1.3. Лучевой метод расчета

1.4. Модовое представление поля в однородном изоскоростном волноводе

Тема 2. Распространение звука в подводном звуковом канале.

2.1. Модель глубокого моря. Канонический подводный звуковой канал.

2.2. Простейшая лучевая теория ПЗК.

2.3. Выражение для поля точечного источника в ПЗК в виде суммы нормальных волн.

Тема 3. Методы расчета звуковых полей в переменных по трассе акустических волноводах.

3.1. Метод поперечных сечений.

3.2. Метод Барриджа-Вайнберга.

3.3. Метод параболического уравнения

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

Основными видами образовательных технологий курса «**Численные методы решения задач в акустике океана**» являются лекции с применением технологий интерактивного обучения (презентаций) и самостоятельная работа магистров.

#### **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Используются виды самостоятельной работы магистра: в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных занятий и в конце курса при проведении зачета по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

#### **Список контрольных вопросов:**

1. Точные решения уравнения Гельмгольца в однородной среде. Плоские и сферические волны.
2. Формулы Френеля для коэффициентов отражения и прозрачности на границе двух жидких сред.
3. Плавно-неоднородные среды. Основы использования асимптотических методов расчета в неоднородных средах.
4. Приближение геометрической акустики. Алгоритм расчета поля точечного источника в плавнонеоднородной среде с «замороженными» неоднородностями.
5. Звуковое поле точечного источника, расположенного вблизи свободной поверхности. Параметр Рэлея.
6. Поле точечного источника, расположенного вблизи дна. Метод стационарной фазы.
7. Лучевое представление поля точечного источника в однородном изоскоростном слое.
8. Представление поля в слое в виде нормальных мод. Коэффициенты возбуждения. Затухающие и распространяющиеся моды. Концепция Бриллюэна.
9. Канонический волновод Манка.
10. Выражение для поля точечного источника в ПЗК в виде суммы нормальных волн.

6. **Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),** включающий:

- 6.1. **Перечень компетенций** выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Код компетенции по ОПОП	Характеристика компетенции	Составляющие компетенции		
		знания	умения и навыки	владение опытом и личностная готовность к профессиональному совершенствованию
ПК-1	способность руководить научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, в области информатики и информационных технологий (ФИИТ), и формировать их новые направления в области профессиональной деятельности	Знать принципы использования численного моделирования в задачах акустики океана Владеть базовыми навыками использования численных методов для решения модельных задач акустики океана	Знать принципы использования численного моделирования в задачах акустики океана Владеть базовыми навыками использования численных методов для решения модельных задач акустики океана	Опыт решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе информационных технологий и прикладной математики

## 6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала.

Зачет проводится в устной форме. Устная часть зачета заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой, вопросы для промежуточного контроля указаны в пункте 5 настоящей РПД) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Шкала оценивания «зачет - незачет»:

Оценка	Уровень подготовки
Зачтено	Удовлетворительное знание содержания курса: В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами или хотя бы минимальный уровень теоретических знаний. Студент может делать ошибки при ответе, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ.
Не зачтено	Неудовлетворительное знание содержания курса: Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора.

### **6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций**

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используется индивидуальное собеседование,

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются практические контрольные задания.

### **6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.**

#### **Теоретические вопросы ПК-1**

1. Точные решения уравнения Гельмгольца в однородной среде. Плоские и сферические волны.
2. Формулы Френеля для коэффициентов отражения и прозрачности на границе двух жидких сред.
3. Плавно-неоднородные среды. Основы использования асимптотических методов расчета в неоднородных средах.
4. Приближение геометрической акустики.
5. Звуковое поле точечного источника, расположенного вблизи свободной поверхности.
6. Поле точечного источника, расположенного вблизи дна.
7. Представление поля в слое в виде нормальных мод. Коэффициенты возбуждения. Затухающие и распространяющиеся моды. Концепция Бриллюэна.
8. Канонический волновод Манка.

#### **Теоретические вопросы ПК-1**

1. Алгоритм расчета поля в точечного источника в плавнонеоднородной среде с «замороженными» неоднородностями.
2. Расчет диаграммы направленности поля точечного источника вблизи абсолютной отражающей поверхности – акустически «мягкая» и «жесткая» поверхность.
3. Поле точечного источника, расположенного вблизи дна. Метод стационарной фазы.
4. Лучевое представление поля точечного источника в однородном изоскоростном слое.
5. Интегральное представление поля в слое.
6. Выражение для поля точечного источника в ПЗК в виде суммы нормальных волн.

#### **Типовые контрольные задания ПК-1**

1. Плоская звуковая волна падает на границу раздела двух жидких сред. Рассчитать и построить графики функции коэффициента отражения (по давлению)  $V$  в зависимости от угла падения  $\Theta$  (или от угла скольжения  $X$ ). Рассчитать коэффициент отражения  $V$  и представить его на комплексной плоскости ( $n = \frac{c_1}{c_2} = ???$ ;  $m = \frac{\rho_2}{\rho_1} = ???$ ).  $\rho_1$  и  $\rho_2$  - плотности сред,  $c_1$  и  $c_2$  - скорости звука в средах. (Значение  $n$  и  $m$  задается преподавателем).
2. Точечный источник сферической монохроматической волны (длина волны  $\lambda$ ) находится в однородном полупространстве на расстоянии  $z$  от абсолютно отражающей акустически жесткой поверхности с коэффициентом отражения  $V = 1$ . Получить выражение для диаграммы направленности  $F = F(\Theta)$  такого излучателя (система излучатель + поверхность) во Фраунгоферовой зоне, считая  $R, R_0, R_I \gg z_I, R_0 \gg \frac{z_I^2}{\lambda}$ . Построить  $F = F(\Theta)$  в полярной системе координат при  $z_I = ???$ . (Значение  $z_I$  задается преподавателем).

3. В плоском изоскоростном слое с абсолютно отражающими границами находится источник монохроматической волны с длиной волны  $\lambda$ . Решив краевую задачу, получить выражения для собственных чисел и собственных функций волновода и записать решение для нормальных волн волновода. Построить численно вертикальное распределение амплитуды давления  $P=P(z)$  для мод первых номеров. Определить число распространяющихся мод, если  $\lambda = ???$  м,  $H = ???$  м. (Значение  $\lambda$  и  $H$  задается преподавателем).

#### 6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

- Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,
- Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

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

##### Численные методы решения задач в акустике океана

а) основная литература:

1. Гурбатов С.Н., Руденко О.В., Саичев А.И. *Волны и структуры в нелинейных средах без дисперсии. Приложение к нелинейной акустике*. М: Физматлит, 2011, 496 с.
2. *Акустика в задачах*. Под ред. Гурбатов С.Н., Руденко О.В. М: Физматлит, 2009, 336 с.

б) дополнительная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теоретическая физика. Учебное пособие. Т. 6. Гидродинамика*. Физматлит, 2015. – 746 с.
2. Щевьев Ю.П. *Основы физической акустики*. М.: Лань, 2017, 367

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Гурбатов С.Н., Грязнова И.Ю., Демин И.Ю., Курин В.В., Прончатов-Рубцов Н.В. Электронный задачник «Основы механики сплошных сред: гидромеханика и акустика» / Фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ, 2012. – 95 с.  
[http://www.unn.ru/books/met\\_files/Zadachnic\\_MSS.doc](http://www.unn.ru/books/met_files/Zadachnic_MSS.doc)
2. Грязнова И.Ю., Лабутина М.С., Прончатов-Рубцов Н.Р. *Теория однократного рассеяния волн и ее приложение к задачам акустики природных сред: Учебное пособие*. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. – 80 с.  
[http://www.unn.ru/books/met\\_files/Scattering.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/Scattering.pdf)

#### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

- компьютерный класс радиофизического факультета,
- аудитория для работы с мультимедийным проектором.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО/ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению **02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»**, магистерская программа **«Автоматизация научных исследований»**.

Автор к.ф.-м.н., доцент Прончатов-Рубцов Н.В.

Рецензент д.ф.-м.н., профессор Матросов В.В.

Заведующий кафедрой д.ф.-м.н., профессор Гурбатов С.Н.

Программа одобрена на заседании методической комиссии  
Радиофизического факультета от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.