

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Численные методы в акустике и гидродинамике

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Акустика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.01 Численные методы в акустике и гидродинамике относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области акустики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	<p>ПК-1.1: Знать основы фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач численного моделирования в акустике и гидродинамике.</p> <p>ПК-1.2: Уметь свободно ориентироваться в фундаментальных аспектах физики и радиофизики, необходимыми для решения задач численного моделирования в акустике и гидродинамике.</p>	Задачи	Зачёт: Задания
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области акустики и радиофизики и оформлять их результаты	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области акустики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом</p>	<p>ПК-2.1: Знать численные методы решения задач нелинейной акустики, учитывающие эффекты искажения фронта волны. Уметь использовать знания о современном состоянии исследований в области акустики и радиофизики для решения задач численного моделирования.</p> <p>Владеть навыками применения численных методов в акустике и гидродинамике.</p>	Задачи	Зачёт: Задания

	<p>поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области акустики и радиофизики</p>	<p>ПК-2.2: Знать критерии выбора методов решения задач в акустике и гидродинамике.</p> <p>ПК-2.3: Уметь самостоятельно ставить задачи и выбирать численные методы их решения.</p> <p>ПК-2.4: Владеть численными методами исследований в области акустики и гидродинамики.</p>		
<p>ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</p>	<p>ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу</p> <p>ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика</p>	<p>ПК-3.1: Уметь: решать численно задачи линейной акустики неоднородных сред с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта..</p> <p>ПК-3.2: Знать способы представления результатов научных исследований. Уметь самостоятельно изложить полученные научные результаты на языке, понятном академическому или бизнес-сообществу.</p> <p>ПК-3.3: Владеть опытом наглядного представления результатов численных исследований в области акустики и гидродинамики.</p>	Задачи	Зачёт: Задания

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2

Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Общие принципы численного анализа уравнений акустики и гидродинамики. Численное интегрирование и дифференцирование обыкновенных дифференциальных уравнений Спектральные методы решения волновых уравнений акустики и гидродинамики Метод нормальных волн и метод параболического уравнения решения задач распространения акустических волн в неоднородных средах Численное решение нелинейных эволюционных уравнений акустики	71	32	0	32	39
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	32	0	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

Общие принципы численного анализа уравнений акустики и гидродинамики.
Численное интегрирование и дифференцирование обыкновенных дифференциальных уравнений
Спектральные методы решения волновых уравнений акустики и гидродинамики
Метод нормальных волн и метод параболического уравнения решения задач распространения акустических волн в неоднородных средах
Численное решение нелинейных эволюционных уравнений акустики

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1. Гурбатов С. Н. Нелинейные случайные волны: акустическая и гравитационная турбулентность (часть 2) : Учебное пособие. Ч. 2. Нелинейные случайные волны: акустическая и гравитационная турбулентность (часть 2) : Учебное пособие / Гурбатов С. Н., Демин И. Ю., Прончатов-Рубцов Н. В. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2021. - 130 с.
2. Шампайн Л. Ф. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием MATLAB : учеб. пособие / пер. с англ. И. А. Макарова. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2009. - 304 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1033-0 : 597.30.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Рассмотреть численные методы расчета звуковых полей в неоднородных волноводах на примере лучевого метода (метод нормальных волн, метод параболического уравнения, метод суммирования гауссовых пучков).
2. Взаимосвязь функции и спектра при дискретизации. Восстановление оригинала по спектру дискретной функции. Теорема Котельникова-Шеннона.
3. Определить дискретное преобразование Фурье. Привести выражения для анализа и синтеза Фурье.
4. Быстрое преобразование Фурье. Обосновать алгоритм и эффективность метода, привести сравнение с другими численными преобразованиями. Рассмотреть реализацию и решить задания о цифровой обработке сигналов в среде MATLAB.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений, привести и сравнить различные методы.
2. Алгоритмы вычисления собственных значений и собственных функций (метод возмущений, метод конечных разностей, приближение ВКБ).
3. Адиабатическое приближение метода нормальных волн.
4. Линейные волновые уравнения. Схема бегущего счета для уравнения переноса. Дисперсия волн на сетке, диффузия волн на сетке.

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Уравнения переноса. Безусловно устойчивые схемы. Схема Лакса и Лакса-Вендроффа.
2. Спектральный подход численного моделирования распространения нелинейных случайных волн на примере уравнения Римана.
3. Спектральный метод решения уравнения Бюргерса, нелинейных звуковых пучков. Выбор схемы, шага, сравнение эффективности различных схем.
4. Численное решение эволюционных уравнений параболического типа. Численное интегрирование линеаризованного уравнения Бюргерса. Схемы с весами, Кранка-Николсона. Погрешность аппроксимации, условие устойчивости

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	
не зачтено	

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами и,	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

				с недочетами	.	выполнены все задания в полном объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задание 1. Рассмотреть численные методы расчета звуковых полей в неоднородных волноводах на примере лучевого метода (метод нормальных волн, метод параболического уравнения, метод суммирования гауссовых пучков).

Задание 2. Вывести взаимосвязь функции и спектра при дискретизации. Восстановление оригинала по спектру дискретной функции. Теорема Котельникова-Шеннона.

Задание 3. Определить дискретное преобразование Фурье. Привести выражения для анализа и синтеза Фурье.

Задание 4. Быстрое преобразование Фурье. Обосновать алгоритм и эффективность метода, привести сравнение с другими численными преобразованиями. Рассмотреть реализацию и решить задания о цифровой обработке сигналов в среде MATLAB.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2

Задание 5. Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений, привести и сравнить различные методы.

Задание 6. Алгоритмы вычисления собственных значений и собственных функций (метод возмущений, метод конечных разностей, приближение ВКБ).

Задание 7. Адиабатическое приближение метода нормальных волн.

Задание 8. Линейные волновые уравнения. Схема бегущего счета для уравнения переноса. Дисперсия волн на сетке, диффузия волн на сетке.

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Задание 9. Уравнения переноса. Безусловно устойчивые схемы. Схема Лакса и Лакса-Вендроффа.

Задание 10. Спектральный подход численного моделирования распространения нелинейных случайных волн на примере уравнения Римана.

Задание 11. Спектральный метод решения уравнения Бюргерса, нелинейных звуковых пучков. Выбор схемы, шага, сравнение эффективности различных схем.

Задание 12. Численное решение эволюционных уравнений параболического типа. Численное интегрирование линеаризованного уравнения Бюргерса. Схемы с весами, Кранка-Николсона. Погрешность аппроксимации, условие устойчивости.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» Все

Оценка	Критерии оценивания
	компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Гурбатов Сергей Николаевич. Волны и структуры в нелинейных средах без дисперсии : приложения к нелинейной акустике : [монография]. - М. : Физматлит, 2008. - 496 с. - ISBN 978-5-9221-1042-6 : 150.00., 4 экз.
2. Самарский Александр Андреевич. Введение в численные методы : учеб. пособие для вузов / МГУ им. М. В. Ломоносова. - Изд. 3-е, стер. - СПб. : Изд-во Лань, 2005. - 288 с. : ил. - (Классический университетский учебник). - На шмуцтит.: 250-летию Московского университета. - ISBN 5-8114-0602-9 : 149.00., 1 экз.
3. Кузнецов Дмитрий Феликсович. Численное интегрирование стохастических дифференциальных уравнений / С.-Петерб. гос. техн. ун-т. - СПб. : Изд-во С.-Петерб. гос. ун-та, 2001. - 712 с. - ISBN 5-288-02462-6 : 378.50., 1 экз.
4. Бреховских Леонид Максимович. Теоретические основы акустики океана / РАН, Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова, Науч. совет программы фундам. исслед. Президиума РАН "Изд. тр. выдающихся ученых". - М. : Наука, 2007. - 370 с. - (Памятники отечественной науки. XX век : сер. осн. в 2005 г. / гл. редкол.: Ю. С. Осипов (пред.) [и др.]). - ISBN 978-5-02-035811-9 (в пер.) : 110.00., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Тихонов Андрей Николаевич. Уравнения математической физики : [учеб. пособие для ун-тов]. - 4-е изд., испр. - М. : Наука, 1972. - 735 с. : с черт. - 1.58., 6 экз.
2. Нелинейная акустика в задачах и примерах. / Руденко О.В., Гурбатов С.Н., Хедберг К.М. - Москва : Физматлит, 2007., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=636056&idb=0>.
3. Гурбатов С. Н. Нелинейные случайные волны: акустическая и гравитационная турбулентность (часть 2) : Учебное пособие. Ч. 2. Нелинейные случайные волны: акустическая и гравитационная турбулентность (часть 2) : Учебное пособие / Гурбатов С. Н., Демин И. Ю., Прончатов-Рубцов Н. В. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2021. - 130 с. - Рекомендовано Ученым Советом радиофизического факультета для аспирантов ННГУ, обучающихся по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия» (направленности 01.04.06 «Акустика», 01.04.03 «Радиофизика») и

магистрантов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 03.04.03 «Радиофизика», 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Физика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=783346&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<https://limu.msu.ru/product/3546/home>

Программный комплекс NIFU-beam: Точный и быстрый расчет нелинейных полей фокусированных аксиально-симметричных излучателей

<https://teach-in.ru/course/solving-applied-problems-using-python-programming>
Решение прикладных задач с помощью программирования на языке Python

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Демин Игорь Юрьевич, кандидат физико-математических наук, доцент.

Рецензент(ы): Жуков Сергей Николаевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Гурбатов Сергей Николаевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.