

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

Радиофизический

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Численные методы в акустике и
гидродинамике

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.04.03 Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Акустика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.01 " Численные методы в акустике и гидродинамике " относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 Радиофизика, формируемой участниками образовательных отношений.

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	
<p>ПК-1:</p> <p><i>Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности</i></p>	<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><i>Знать</i> основы фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач численного моделирования в акустике и гидродинамике.</p> <p><i>Уметь</i> свободно ориентироваться в фундаментальных аспектах физики и радиофизики, необходимыми для решения задач численного моделирования в акустике и гидродинамике.</p>	<p><i>Собеседование, задача (практическое задание)</i></p>
<p>ПК-2:</p> <p><i>Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских</i></p>	<p>ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов.</p>	<p><i>Знать</i> численные методы решения задач нелинейной акустики, учитывающие эффекты искажения фронта волны.</p> <p><i>Уметь</i> использовать знания о современном состоянии исследований в области акустики и радиофизики для решения задач численного моделирования.</p> <p><i>Владеть</i> навыками применения численных методов в акустике и гидродинамике.</p>	<p><i>Собеседование, задача (практическое задание)</i></p>

<i>работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты</i>	ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.	<p><i>Знать</i> критерии выбора методов решения задач в акустике и гидродинамике.</p> <p><i>Уметь</i> самостоятельно ставить задачи и выбирать численные методы их решения.</p> <p><i>Владеть</i> численными методами исследований в области акустики и гидродинамики.</p>	<i>Собеседовани е, задача (практическо е задание)</i>
<i>ПК-3 . Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</i>	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.	<i>Уметь:</i> решать численно задачи линейной акустики неоднородных сред с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта..	
	ПК-3.2. Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.	<p><i>Знать</i> способы представления результатов научных исследований.</p> <p><i>Уметь</i> самостоятельно изложить полученные научные результаты на языке, понятном академическому или бизнес-сообществу.</p> <p><i>Владеть</i> опытом наглядного представления результатов численных исследований в области акустики и гидродинамики.</p>	

3. Структура и содержание дисциплины «Численные методы в акустике и гидродинамике»

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия практического типа	32
самостоятельная работа	39
КСР	1
Промежуточная аттестация – зачет	

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	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	Всего	
Общие принципы численного анализа уравнений акустики и гидродинамики.	15	8			8	7
Численное интегрирование и дифференцирование обыкновенных дифференциальных уравнений	14	6			6	8
Спектральные методы решения волновых уравнений акустики и гидродинамики	14	6			6	8
Метод нормальных волн и метод параболического уравнения решения задач распространения акустических волн в неоднородных средах	14	6			6	8
Численное решение нелинейных эволюционных уравнений акустики	14	6			6	8
В т.ч. текущий контроль	1	1			1	-
Промежуточная аттестация – зачет						

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках групповых или индивидуальных консультаций.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор материала лекционных занятий,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы.

Примеры контрольных заданий:

1. Волновое уравнение и граничные условия. Обзор и сравнение различных численных методов расчета звуковых полей в неоднородных волноводах (лучевой метод, метод нормальных волн, метод параболического уравнения, метод суммирования гауссовых пучков).
2. Общие принципы спектрального анализа: Спектр дискретной функции, периодичность спектра. Частота Найквиста. Явление наложения частот. Взаимосвязь функции и спектра при дискретизации. Восстановление оригинала по спектру дискретной функции. Теорема Котельникова-Шеннона.
3. Дискретное преобразование Фурье. Ортогональность гармоник. Формулы анализа и синтеза Фурье.
4. Быстрое преобразование Фурье. Алгоритм, эффективность метода. Цифровая обработка сигналов в среде MATLAB.
5. Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений
Задача Коши. Метод Эйлера, метод с перешагиванием. Условие устойчивости для нарастающих, у бывающих и осциллирующих линейных уравнений. Явные схемы второго порядка точности. Схема Рунге-Кутты четвертого порядка точности.
6. Метод нормальных волн. Основные уравнения, граничные условия и проблемы, возникающие при численном решении задачи. Алгоритмы вычисления собственных значений и собственных функций (метод возмущений, метод конечных разностей, приближение ВКБ). Адиабатическое приближение метода нормальных волн.
7. Линейные волновые уравнения. Схема бегущего счета для уравнения переноса. Дисперсия волн на сетке, диффузия волн на сетке. Условие устойчивости. Уравнения переноса. Безусловно устойчивые схемы. Схема Лакса и Лакса-Вендроффа. Волновое уравнение. Природа сеточной дисперсии. Волны в цепочках. Схема типа крест и ее устойчивость.
8. Нелинейные эволюционные уравнения акустики. Уравнение простых волн. Спектральный подход. Метод расщепления для эволюционных уравнений нелинейной акустики (уравнения Бюргерса, нелинейных звуковых пучков). Расщепление по физическим факторам, основные методы интегрирования. Выбор схемы, шага, сравнение эффективности различных схем.
9. Численное решение эволюционных уравнений параболического типа. Численное интегрирование линеаризованного уравнения Бюргерса. Схемы с весами, Кранка-Николсона. Погрешность аппроксимации, условие устойчивости. Неявные схемы интегрирования. Метод исключения Гаусса. Спектральный метод. Сеточная дисперсия погрешность аппроксимации, условие устойчивости.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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, без ошибок.	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.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами .	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом . 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 некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

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

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

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. Численные методы расчета звуковых полей в неоднородных волноводах (лучевой метод, метод нормальных волн, метод параболического уравнения, метод суммирования гауссовых пучков).	ПК-1
2. Спектр дискретной функции, периодичность спектра. Частота Найквиста. Явление наложения частот. Взаимосвязь функции и спектра при дискретизации. Восстановление оригинала по спектру дискретной функции. Теорема Котельникова-Шеннона.	ПК-1
3. Дискретное преобразование Фурье. Ортогональность гармоник. Формулы анализа и синтеза Фурье.	ПК-1
4. Быстрое преобразование Фурье. Алгоритм, эффективность метода. Цифровая обработка сигналов в среде MATLAB.	ПК-1
5. Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений	ПК-1

Задача Коши. Метод Эйлера, метод с перешагиванием.	
6. Условие устойчивости для нарастающих, у бывающих и осциллирующих линейных уравнений. Явные схемы второго порядка точности. Схема Рунге-Кутты четвертого порядка точности.	ПК-2
7. Метод нормальных волн. Основные уравнения, граничные условия и проблемы, возникающие при численном решении задачи.	ПК-2
8. Алгоритмы вычисления собственных значений и собственных функций (метод возмущений, метод конечных разностей, приближение ВКБ). Адиабатическое приближение метода нормальных волн.	ПК-2
9. Линейные волновые уравнения. Схема бегущего счета для уравнения переноса. Дисперсия волн на сетке, диффузия волн на сетке. Условие устойчивости.	ПК-2
10. Уравнения переноса. Безусловно устойчивые схемы. Схема Лакса и Лакса-Вендроффа.	ПК-2
11. Волновое уравнение. Природа сеточной дисперсии. Волны в цепочках. Схема типа крест и ее устойчивость.	ПК-3
12. Уравнение простых волн. Спектральный подход численного моделирования распространения нелинейных случайных волн.	ПК-3
13. Метод расщепления для уравнения Бюргерса, нелинейных звуковых пучков. Расщепление по физическим факторам, основные методы интегрирования. Выбор схемы, шага, сравнение эффективности различных схем.	ПК-3
14. Численное решение эволюционных уравнений параболического типа. Численное интегрирование линеаризованного уравнения Бюргерса. Схемы с весами, Кранка-Николсона. Погрешность аппроксимации, условие устойчивости. Неявные схемы интегрирования. Метод исключения Гаусса. Спектральный метод. Сеточная дисперсия погрешность аппроксимации, условие устойчивости.	ПК-3

5.2.2. Типовые задания/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.

5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-2

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

6. Алгоритмы вычисления собственных значений и собственных функций (метод возмущений, метод конечных разностей, приближение ВКБ).
7. Адиабатическое приближение метода нормальных волн.
8. Линейные волновые уравнения. Схема бегущего счета для уравнения переноса. Дисперсия волн на сетке, диффузия волн на сетке.

5.2.4. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-3

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

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Кузнецов Д. Ф. - Численное интегрирование стохастических дифференциальных уравнений. - СПб.: Изд-во С.-Петерб. гос. ун-та, 2001. - 712 с.
2. Самарский А. А. - Введение в численные методы: учеб. пособие для вузов. - СПб.: Изд-во Лань, 2005. - 288 с.
3. Гурбатов С.Н., Руденко О.В., Саичев А.И. Волны и структуры в нелинейных средах без дисперсии: приложения к нелинейной акустике. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 496 с.

б) дополнительная литература:

1. Тихонов А. Н., Самарский А. А. - Уравнения математической физики: [учеб. пособие для ун-тов]. - М.: Наука, 1972. - 735 с.
2. Самарский А. А. - Введение в численные методы. - М.: Наука, 1997. - 239 с.
3. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. Л.: Гидрометеиздат, 1982.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования РФ 07.08.2020 № 918).

Автор: к.ф.-м.н., доцент Демин И.Ю.

Рецензент: к.ф.-м.н., доцент Жуков С.Н.

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

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