

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

Численное моделирование в гидродинамике и акустике

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

02.04.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы

Автоматизация научных исследований

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.02 Численное моделирование в гидродинамике и акустике 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 руководить научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, в области информатики и информационных технологий (ФИИТ), и формировать их новые направления в области профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Знает проблематику и методы научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1.2: Имеет навыки выполнения научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1.3: Имеет навыки руководства исследованиями и опытно-конструкторскими разработками в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности, и формирования их новых направлений</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать и применять современные численные методы решения задач линейной и нелинейной акустики, учитывающие распространения акустических волн в анизотропных средах и эффекты искажения фронта волны</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Уметь решать численно задачи линейной и нелинейной акустики неоднородных сред с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта</p> <p>ПК-1.3:</p> <p>Знать способы представления результатов научных исследований.</p> <p>Уметь самостоятельно изложить полученные научные результаты на языке, понятном академическому или бизнес-сообществу.</p>	Задачи	Зачёт: Задания

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	75
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	107	32	0	32	75
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	32	0	33	75

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. Численные методы расчета звуковых полей в неоднородных волноводах (лучевой метод, метод нормальных волн, метод параболического уравнения, метод суммирования гауссовых пучков).
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.
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.
6. Условие устойчивости для нарастающих, у бывающих и осциллирующих линейных уравнений. Явные схемы второго порядка точности. Схема Рунге-Кутты четвертого порядка точности.

7. Метод нормальных волн. Основные уравнения, граничные условия и проблемы, возникающие при численном решении задачи.

8. Алгоритмы вычисления собственных значений и собственных функций (метод возмущений, метод конечных разностей, приближение ВКБ). Адиабатическое приближение метода нормальных волн.

9. Линейные волновые уравнения. Схема бегущего счета для уравнения переноса. Дисперсия волн на сетке, диффузия волн на сетке. Условие устойчивости.

10. Уравнения переноса. Безусловно устойчивые схемы. Схема Лакса и Лакса-Вендроффа.

11. Волновое уравнение. Природа сеточной дисперсии. Волны в цепочках. Схема типа крест и ее устойчивость.

12. Уравнение простых волн. Спектральный подход численного моделирования распространения нелинейных случайных волн.

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.	При решении стандартных задач не	Продемонстрированы основные	Продемонстрированы все	Продемонстрированы все	Продемонстрированы все	Продемонстрированы все основные

	Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<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 некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми 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.

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.

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

Оценка	Критерии оценивания
	хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень 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» 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.-Петербург. 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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.04.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

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.