

**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
Численное моделирование в гидродинамике и
акустике**

Уровень высшего образования
магистратура

Направление подготовки / специальность
**02.04.02 –Фундаментальная информатика и информационные
системы**

Направленность образовательной программы
Автоматизация научных исследований

Квалификация (степень)
магистр

Форма обучения
очная

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

Дисциплина «Численное моделирование в гидродинамике и акустике» относится к дисциплинам по выбору вариативной части основной образовательной программы по направлению **02.04.02 –Фундаментальная информатика и информационные системы**, магистерская программа «Автоматизация научных исследований», является дисциплиной по выбору на 1 курсе (в 2 семестре) магистратуры.

Целями освоения дисциплины являются:

- ознакомление студентов с основными свойствами распространения регулярных случайных полей и волн в акустических средах,
- изучение основных численных методов анализа акустических волн,
- формирование профессионального подхода к решению практических задач акустики неоднородных сред при использовании максимально простых средств их решения.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные в ходе изучения курсов «Общая акустика», «Численные методы решения задач в акустике океана».

В процессе изучения дисциплины магистранты должны расширить знания по особенностям применения численных методов решения основных задач распространения акустических волн в неоднородных диссипативных средах. Уметь применять численные методы для обработки и реконструкции акустических полей и изображений; принципы построения, алгоритмы и программы численного моделирования в акустике и гидродинамике.

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
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	<i>З1 Знать и применять современные численные методы решения задач линейной и нелинейной акустики, учитывающие распространения акустических волн в анизотропных средах и эффекты искажения фронта волны</i> <i>У1 Уметь решать численно задачи линейной и нелинейной акустики неоднородных сред с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта</i>

3. Структура и содержание дисциплины «Численное моделирование в гидродинамике и акустике»

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 1 час - мероприятия текущего контроля успеваемости), 1 час - мероприятия промежуточной аттестации, 75 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое	Всего	В том числе
------------------------	-------	-------------

содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	(часы)			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
Общие принципы численного анализа уравнений акустики и гидродинамики.	17			6											6			11
Численное интегрирование и дифференцирование обыкновенных дифференциальных уравнений	22			6											6			16
Спектральные методы решения волновых уравнений акустики и гидродинамики	22			6											6			16
Метод нормальных волн и метод параболического уравнения решения задач распространения акустических волн в неоднородных средах	22			6											6			16
Численное решение нелинейных эволюционных уравнений акустики	24			8											8			16
В т.ч.текущий контроль	1						1								1			
Промежуточная аттестация - зачет																		

4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий курса «**Численное моделирование в гидродинамике и акустике**» являются лекции с применением технологий интерактивного обучения (презентаций), лабораторные занятия в компьютерном модуле с использованием современных информационных технологий и самостоятельная работа студента.

Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекционных занятий с применением технологий интерактивного обучения (презентаций).

Занятия лабораторного типа осуществляются в форме практических занятий в компьютерном модуле с использованием современных информационных технологий.

Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций используемые на занятиях лекционного типа:

- лекции-беседы с использованием мультимедийных средств поддержки образовательного процесса;
- практические занятия с компьютерным оборудованием;
- лекции с проблемным изложением учебного материала.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является зачет, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний по дисциплине. Для активизации познавательного процесса слушателям даются задания по самостоятельной подготовке отдельных фрагментов лекций. Основной акцент воспитательной работы делается на добросовестном, профессиональном выполнении всех учебных заданий.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, 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, а также конспекты лекций.

Список контрольных вопросов для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.

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

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

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)	
	неудовлетворительно	удовлетворительно
Знать современные численные методы решения задач линейной и нелинейной акустики, учитывающие распространения акустических волн в анизотропных средах и эффекты искажения фронта волны	Отсутствие знаний современных численных методов решения задач линейной и нелинейной акустики, учитывающие распространения акустических волн в анизотропных средах и эффекты искажения фронта волны	Достаточное знание современных численных методов решения задач линейной и нелинейной акустики, учитывающие распространения акустических волн в анизотропных средах и эффекты искажения фронта волны
Уметь решать численно задачи линейной и нелинейной акустики неоднородных сред с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	Отсутствие умения решать численно задачи линейной и нелинейной акустики неоднородных сред с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	Достаточное умение решать численно задачи линейной и нелинейной акустики неоднородных сред с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 % – 50 %	51% - 100 %

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 рабочей программы дисциплины) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Шкала оценивания «зачет - незачет»:

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ	
	не зачтено	зачтено
Полнота знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущены некоторые погрешности
Наличие умений	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с некоторыми погрешностями. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.
Наличие навыков (владение опытом)	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами
Мотивация (личностное отношение)	Учебная активность и мотивация слабо выражены, готовность решать поставленные задачи качественно отсутствуют	Учебная активность и мотивация проявляются на среднем или высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять поставленные задачи на среднем уровне качества и выше
Характеристика сформированности компетенции	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных профессиональных задач.
Уровень сформированности компетенций	Низкий	Минимально допустимый и выше

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

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- письменные и устные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- контрольные задания.

Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используется

- устное собеседование.

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. 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.

13. Метод расщепления для уравнения Бюргера, нелинейных звуковых пучков. Расщепление по физическим факторам, основные методы интегрирования. Выбор схемы, шага, сравнение эффективности различных схем.

14. Численное решение эволюционных уравнений параболического типа. Численное интегрирование линеаризованного уравнения Бюргера. Схемы с весами, Кранка-Николсона. Погрешность аппроксимации, условие устойчивости. Неявные схемы интегрирования. Метод исключения Гаусса. Спектральный метод. Сеточная дисперсия погрешность аппроксимации, условие устойчивости.

Типовые контрольные задания (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. 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.

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

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

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

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

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 в акустике и гидродинамике»

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.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

- аудиторный фонд ННГУ,
- аудитория для работы с мультимедийным проектором,
- лабораторный фонд ННГУ.

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

Автор к.ф.-м.н., доцент Демин И.Ю.

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

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.