

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

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

Институт информационных технологий, математики и механики

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
от 30.11.2022 г. протокол № 13

Рабочая программа дисциплины

Дискретные математические модели

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

01.04.02 Прикладная математика и информатика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

магистерская программа «Математическое моделирование физико-механических процессов»

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.01 , Дискретные математические модели относится к обязательной части ООП направления подготовки направления подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика

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	
ПК-4. Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	ПК-4.1. Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач.	Знать методы разработки и анализа дискретных математических моделей, необходимые при решении исследовательских и практических задач, основы теории разностных схем, методы исследования устойчивости разностных схем	<i>Собеседование, зачёт</i>
	ПК-4.2. Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач.	Уметь применять методы исследования аппроксимации и устойчивости к известным и новым численным методам решения задач математической физики	<i>Контрольная работа</i>
	ПК-4.3. Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	Владеть навыками применения методов разработки и анализа дискретных математических моделей решаемых научных проблем и задач	<i>Собеседование, зачёт</i>
ПК-5. Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для	ПК-5.1. Знает типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности.	Знать типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности Уметь применять типовые	<i>Собеседование, Контрольная работа, зачёт</i>

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	
решения задач научной деятельности	<p>ПК-5.2. Умеет применять типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности.</p> <p>ПК-5.3. Имеет навыки разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности.</p>	<p>математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</p> <p>Владеть навыками разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности; численного решения задач математической физики с использованием современных программных комплексов</p>	

*Индикатор достижения компетенции – указывается из таблиц п.4.1. Общей характеристики ООП,

**Результаты обучения по дисциплине- указываются авторами РПД согласно содержания дисциплины

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	4 з.е.
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	66
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	32
- занятия лабораторного типа	
- текущий контроль (КСР)	2
самостоятельная работа	42
Промежуточная аттестация – экзамен	36

3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения							
№	Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР ¹ , часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
			из них			Всего	
З.ЛеТ ²	З.СеТ ³	З.ЛаТ ⁴					
1.	Основные понятия теории разностных схем	16	4	6		10	6
2.	Методы исследования аппроксимации и устойчивости разностных схем.	20	8	6		14	6
3.	Вариационно-разностные и конечно-элементные методы	29	8	8		16	13

Очная форма обучения							
№	Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР ¹ , часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
			из них				
			З.ЛеТ ²	З.СеТ ³	З.ЛаТ ⁴	Всего	
4.	Математические модели деформируемых тел и оболочек	20	6	6		12	8
5.	Анализ численных схем теории упругости и теории оболочек	21	6	6		12	9
	Текущий контроль (КСР)	2				2	
	Промежуточная аттестация	36					
	ИТОГО	144	32	32		66	42
¹ Самостоятельная работа обучающегося. ² Занятия лекционного типа. ³ Занятия семинарского типа. ⁴ Занятия лабораторного типа.							

Краткое содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение Знакомство с методами построения приближенных математических моделей в области механики деформируемого твердого тела и конструкций. Обзор современных численных методов решения многомерных задач механики сплошных сред.
2. Аппроксимация и устойчивость Методы анализа аппроксимации разностных схем. Анализ устойчивости численных схем решения задач математической физики.
3. Вариационные методы Построение численных схем на основе вариационных постановок задач. Вариационно-разностный метод. Метод конечных элементов. Построение явного вида сеточных операторов вариационных численных схем.
4. Математические модели механики твердого тела Одномерные, двумерные и трехмерные модели теории упругости и теории оболочек. Системы уравнений, постановки задач.
5. Численные методы в механике твердого тела Применение современных математических методов и компьютерных технологий при решении задач расчета конструкций на прочность и устойчивость; закрепление навыков на решении конкретных примеров.

Практические занятия (семинарские занятия) 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 (семинарских занятий) в форме практической подготовки отводится 32 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: применения методов разработки и анализа дискретных математических моделей.
- компетенций - ПК-4; ПК-5.

Текущий контроль успеваемости проходит в рамках занятий семинарского типа.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок выполнения, форма контроля)

- Повторение материала, пройденного на лекционных занятиях (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа)
- Выполнение заданий по теме учебного курса (2 раза за семестр, письменный отчет)
- Самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (опрос на занятиях семинарского типа)
- Подготовка к промежуточной аттестации (зачет)

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

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме задач (*практических заданий*), *контрольных работ* и контрольные материалы для проведения промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к *зачету*.

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		Знания	Умения	Навыки
плохо	не зачтено	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа
неудовлетворительно		Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
удовлетворительно	зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
хорошо		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
очень хорошо		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
отлично		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.

Шкала оценивания сформированности компетенций	Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
	Знания	Умения	Навыки
		все задания в полном объеме.	
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	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»
незачтено	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

5.2.1. Контрольные вопросы

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Аппроксимация, устойчивость и сходимость. Теорема Лакса.	ПК-4
2. Устойчивость разностных схем решения эллиптических уравнений. Принцип максимума.	ПК-4
3. Метод гармоник исследования устойчивости разностных схем решения параболических и гиперболических уравнений.	ПК-4
4. Теорема Куранта-Фридрихса-Леви.	ПК-4
5. Формулы естественной аппроксимации производных.	ПК-4
6. Аппроксимация частных производных методом наименьших квадратов.	ПК-4

Вопросы	Код формируемой компетенции
7. Базисные и сопряженные сеточные операторы на равномерных косоугольных сетках.	ПК-4
8. Вариационно-разностный метод.	ПК-4
9. Формулы сеточного интегрирования по частям. Вывод сеточных уравнений Эйлера вариационной задачи.	ПК-4
10. Метод конечных элементов. Построение сеточных уравнений для схем МКЭ.	ПК-4
11. Модели оболочек. Вывод уравнений теории пластин Тимошенко из вариационной задачи теории упругости.	ПК-4
12. Разностные схемы теории оболочек Тимошенко. Анализ сходимости.	ПК-4
13. Эквивалентные преобразования сеточных уравнений теории упругости и теории оболочек. Свойства индексной коммутативности.	ПК-4
14. Анализ устойчивости разностных схем решения задач теории упругости и теории оболочек.	ПК-4
15. Влияние взаимного расположения конечных элементов на аппроксимацию уравнений теории упругости.	ПК-4
16. Ажурные схемы метода конечных элементов.	ПК-4

5.2.2. Типовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-4

- Записать дисперсионное уравнение для трехмерного сеточного волнового уравнения. Выразить частоту через волновой вектор.
- Записать дисперсионное уравнение для одномерной системы уравнений теории пластин типа Тимошенко. Выразить частоту через волновое число.
- Построить формулу численного дифференцирования для набора узлов (0,0,0), (1,0,1), (1,1,2), (-1,3,-4) в трехмерном пространстве
- Для косоугольной равномерной двумерной сетки (решетки Браве), заданной парой векторов (2,1), (1,3) построить базисные и сопряженные операторы численного дифференцирования и их попарные суперпозиции
- Построить конечно-разностное представление вариационно-разностной схемы для двумерного уравнения Пуассона на треугольной сетке
- Построить конечно-разностное представление схемы МКЭ на базе 4-узлового билинейного КЭ для двумерной системы уравнений Ламе

5.2.3. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-5

- Исследовать на устойчивость схему типа «уголок» для решения уравнения переноса.
- Исследовать на устойчивость двумерную схему типа «крест» решения волнового уравнения с использованием теорем Куранта-Фридрихса-Леви.
- Исследовать на устойчивость вариационно-разностную схему решения одномерной задачи теории пластин типа Тимошенко.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Баженов В.Г., Чекмарев Д.Т. Решение задач нестационарной динамики пластин и оболочек вариационно-разностным методом: Учебное пособие. Н.Новгород. Изд-во ННГУ, 2000, 107 с. 20экз.
2. Баженов В.Г., Чекмарев Д.Т. Оценки устойчивости и повышение эффективности численных схем решения задач динамики сплошных сред и конструкций. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Применение программных средств в научных исследованиях и преподавании математики и механики». Нижний Новгород, 2007, 98 с.
http://www.unn.ru/books/met_files/UMM_BC.pdf
3. Чекмарев Д.Т. Автоматическое построение и анализ конечно-разностного представления вариационно-разностных и КЭ схем. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные технологии и компьютерное моделирование в математике и механике». Нижний Новгород, 2007, 88 с. http://www.unn.ru/books/met_files/UMM_C.pdf

4. б) дополнительная литература:

1. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: Учебное пособие для вузов. М.: Наука, 1989. 15 экз.
2. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М.: Мир. 1987. 542 с. 1экз.
3. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. - М.: Наука, 1989. 5 экз.
4. Баженов В.Г., Чекмарев Д.Т. Вариационно-разностные схемы в нестационарных волновых задачах динамики пластин и оболочек. Н.Новгород. Изд-во ННГУ.1992.159 с. 5экз.

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

1. Чекмарев Д.Т., Жидков А.В. Численное решение трехмерных динамических задач теории упругости на основе ажурной схемы МКЭ: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2010. -53 с.
http://www.unn.ru/books/met_files/Chekmarev-Zhidkov.doc

2. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для проведения лекционных и семинарских занятий, оснащенные мультимедийными средствами

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 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Автор д.ф.-м.н, доцент, Чекмарев Д.Т.

Заведующий кафедрой, д.ф.-м.н., профессор, Игумнов Л.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики
от 30.11.2022 года, протокол № 3.