

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
президиумом Ученого совета ННГУ
от 14.12.2021 г. протокол № 4

Рабочая программа дисциплины

Устойчивость разностных схем

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

01.03.02 Прикладная математика и информатика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

«Математическое моделирование и вычислительная математика»

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород
2022 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.09.01 «Устойчивость разностных схем» относится части, формируемой участниками образовательных отношений

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.09.01 «Устойчивость разностных схем» относится к части ООП направления подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика, 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**	
ПК-5. Способен проектировать программное обеспечение	ПК-5.1. Знает типовые решения, библиотеки программных модулей, шаблоны, классы объектов, используемые при разработке программного обеспечения ПК-5.2. Знает методы и средства проектирования программного обеспечения ПК-5.3. Знает методы и средства проектирования баз данных	Знает основы теории разностных схем, методы исследования устойчивости разностных схем	<i>Собеседование</i>
	ПК-5.4. Умеет использовать существующие типовые решения и шаблоны проектирования программного обеспечения ПК-5.5. Умеет применять методы и средства проектирования программного обеспечения, структур данных, баз данных	Умеет применять методы исследования аппроксимации и устойчивости к известным и новым численным методам решения задач математической физики. Умеет применять методы численного решения задач математической физики с использованием современных программных комплексов	<i>Контрольная работа</i> <i>Контрольная работа</i>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины¹

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	2 з.е.
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	49
- занятия лекционного типа	48
- занятия семинарского типа	
- занятия лабораторного типа	
- текущий контроль (КСР²)	1
самостоятельная работа	23
Промежуточная аттестация – зачет³	

3.2. Содержание дисциплины⁴

Очная форма обучения							
№	Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				СР ¹ , часы
			из них				
			ЗЛсТ ²	ЗСеТ ³	ЗЛаТ ⁴	Всего	
1.	Основные понятия теории разностных схем	11	7			7	4
2.	Методы исследования аппроксимации и устойчивости разностных схем.	27	18			18	9
3.	Вариационно-разностные и конечно-элементные методы	12	9			9	3
4.	Математические модели деформируемых тел и оболочек	13	7			7	6
5.	Анализ численных схем теории упругости и теории оболочек	8	7			7	1
	Текущий контроль (КСР)	1				1	
	ИТОГО	72	48	32		49	23
¹ Самостоятельная работа обучающегося. ² Занятия лекционного типа. ³ Занятия семинарского типа. ⁴ Занятия лабораторного типа.							

Краткое содержание разделов и тем дисциплины

1. Основные понятия теории разностных схем. Корректная задача математической физики. Сетка, сеточная задача. Корректность сеточной задачи. Аппроксимация, устойчивость, сходимость. Теорема Лакса
2. Методы исследования аппроксимации и устойчивости разностных схем. Анализ аппроксимации методом разложения в ряд Тейлора. Метод дифференциального приближения. Специфика аппроксимации систем уравнений. Суммарная аппроксимация, скрытая точность. Методы исследования устойчивости: принцип максимума, метод гармоник, спектральный критерий Неймана, теорема Куранта-Фридрихса-Леви.
3. Вариационно-разностные и конечно-элементные методы Вариационные постановки задач математической физики. Конечно-разностная аппроксимация вариационного уравнения.

¹ (ЗАПОЛНИТЬ в соответствии с учебным планом)

² КСР – контроль самостоятельной работы (АВЖ)

³ (указать нужное)

⁴ (структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Вариационно-разностный метод. Проекционные методы решения вариационных задач. Методы Ритца и Бубнова-Галеркина. Метод конечных элементов. Техника метода конечных элементов. Построение явного вида сеточных операторов вариационно-разностных и конечно-элементных схем.

4. Математические модели деформируемых тел и оболочек Уравнения теории упругости и пластичности. Системы уравнений Ламе и Прандтля-Рейсса. Задачи статики и динамики. Типы упругих волн. Плоская задача теории упругости. Математические модели стержней. Инженерные гипотезы расчета стержней. Теория оболочек. Модели оболочек Кирхгофа-Лява и Тимошенко. Специфика и свойства уравнений теории оболочек.
5. Анализ численных схем теории упругости и теории оболочек Конечно-разностные, вариационно-разностные и конечно-элементные схемы решения задач расчета упругих тел, стержней, пластин и оболочек. Анализ аппроксимации и устойчивости. Особенности численных схем теории оболочек типа Тимошенко. Улучшение устойчивости схем.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (зачет).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся⁵

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

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (в течение семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (зачет).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

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 *зачёту*.

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине⁶

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		<u>Знания</u>	<u>Умения</u>	<u>Навыки</u>
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	При решении стандартных задач не	При решении стандартных задач не

⁵ (УКАЗЫВАЮТСЯ виды самостоятельной работы обучающегося, порядок их выполнения и контроля, дается учебно-методическое обеспечение (возможно в виде ссылок) самостоятельной работы по отдельным разделам дисциплины)

⁶ (при использовании традиционных форм аттестации (зачет, экзамен) шкалы оценивания могут быть «зачет-незачет», «зачет с оценкой», «оценка» по семибалльной и пятибалльной шкалам).

ЕСЛИ используется балльно-рейтинговая система оценивания или другие системы – могут быть использованы другие шкалы оценивания, но при этом НЕОБХОДИМО описать принципы выставления баллов и дальнейшего перевода этих баллов в традиционные шкалы оценивания «зачет-незачет», «зачет с оценкой», «оценка» по семибалльной шкале)

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		Знания	Умения	Навыки
		требований. Имели место грубые ошибки.	продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
удовлетворительно	зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продемонстрированы 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	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
очень хорошо		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
отлично		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
превосходно		Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	Продемонстрирован 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

Оценка		Уровень подготовки
		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 обучения⁷

5.2.1. Контрольные вопросы

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Аппроксимация, устойчивость и сходимость. Теорема Лакса.	ПК-5
2. Устойчивость разностных схем решения эллиптических уравнений. Принцип максимума.	ПК-5
3. Метод гармоник исследования устойчивости разностных схем решения параболических и гиперболических уравнений.	ПК-5
4. Теорема Куранта-Фридрихса-Леви.	ПК-5
5. Формулы естественной аппроксимации производных.	ПК-5
6. Аппроксимация частных производных методом наименьших квадратов.	ПК-5
7. Базисные и сопряженные сеточные операторы на равномерных косоугольных сетках.	ПК-5
8. Вариационно-разностный метод.	ПК-5
9. Формулы сеточного интегрирования по частям. Вывод сеточных уравнений Эйлера вариационной задачи.	ПК-5
10. Метод конечных элементов. Построение сеточных уравнений для схем МКЭ.	ПК-5
11. Модели оболочек. Вывод уравнений теории пластин Тимошенко из вариационной задачи теории упругости.	ПК-5
12. Разностные схемы теории оболочек Тимошенко. Анализ сходимости.	ПК-5
13. Эквивалентные преобразования сеточных уравнений теории упругости и теории оболочек. Свойства индексной коммутативности.	ПК-5
14. Анализ устойчивости разностных схем решения задач теории упругости и теории оболочек.	ПК-5
15. Влияние взаимного расположения конечных элементов на аппроксимацию уравнений теории упругости.	ПК-5
16. Ажурные схемы метода конечных элементов.	ПК-5

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

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

5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-5

1. Записать систему базисных и сопряженных сеточных операторов аппроксимации первых частных производных для заданной равномерной двумерной сетки.
2. Построить вариационно-разностную схему заданной вариационной задачи.
3. Построить дискретную конечно-элементную модель заданной вариационной задачи с использованием заданного типа конечного элемента.

⁷ (ЗАПОЛНИТЬ согласно оценочным средствам табл.2)

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

№	а) основная литература:	К-во ⁸
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.	20
2.	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	Э
3.	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	Э

№	б) дополнительная литература:	К-во ⁹
1.	Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: Учебное пособие для вузов. М.: Наука, 1989.	5
2.	Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М.: Мир. 1987. 542 с.	4
3.	Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. - М.: Наука, 1989.	50

№	в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)	«л» или «с» ¹⁰
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	Э

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: мультимедийная техника (компьютер, проектор, экран).

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 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Автор(ы) _____ д.ф.-м.н., доцент, Чекмарев Д.Т.

⁸ Указать количество экземпляров в библиотеке ННГУ. Если издание доступно в электронном виде (указана ссылка), указать букву «э». (АВЖ)

⁹ Указать количество экземпляров в библиотеке ННГУ. Если издание доступно в электронном виде (указана ссылка), указать букву «э». (АВЖ)

¹⁰ Указать букву «л», если программное обеспечение лицензионное, или «с» – в свободном доступе. (АВЖ)

Рецензент(ы) _____

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

от 01.12.2021 года, протокол № 2.