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

протокол от

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_

**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

 2021 год

1. **Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина Б1.В.ДВ.09.01 «Устойчивость разностных схем» относится к дисциплинам по выбору 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. |

1. **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-2*  Способен анализировать поставленную задачу, использовать корректные методы её решения, применять математически сложные алгоритмы в современных специализированных программных комплексах, реализовывать в них новые алгоритмы | *ПК-2.1*  **Знает** теоретические основы и методологию построения решений фундаментальных задач, основы информационных технологий. | **Знает** основы теории разностных схем, методы исследования устойчивости разностных схем | *Собеседование* |
| *ПК-2.2*  **Умеет** самостоятельно осуществлять анализ и выбор методов и алгоритмов решения задач профессиональной деятельности. | **Умеет** применять методы исследования аппроксимации и устойчивости к известным и новым численным методам решения задач математической физики | *Контрольная работа* |
| *ПК-2.3*  **Имеет практический опыт** решения задач в соответствии с выбранным методом и построенным алгоритмом с использованием современных программных комплексов. | **Владеет навыками** численного решения задач математической физики с использованием современных программных комплексов | *Контрольная работа* |
| *ПК-3*  Способен исследовать, применять программное обеспечение, проводить расчётные работы и исследования, обработку результатов, оформление отчётной документации | *ПК-3.1.*  **Знает** классические методы решения задач, современные программные комплексы для проведения расчётных исследований. | **Знает** дифференциальные и вариационные постановки задач математической физики, технологию построения вариационно-разностных и конечно-элементных методов численного решения задач математической физики. | *Собеседование* |
| *ПК-3.2.*  **Умеет** самостоятельно проводить расчётные исследования, выбирать и применять современные программные комплексы, получать, обрабатывать и анализировать результаты исследований. | **Умеет** строить сеточную модель решаемой задачи | *Контрольная работа* |
| *ПК-3.3.*  **Имеет практический опыт** применения математического и компьютерного моделирования. | **Имеет практический опыт** использования программных комплексов аналитических вычислений | *Контрольная работа* |

1. **Структура и содержание дисциплины** 
   1. **Трудоемкость дисциплины**[[1]](#footnote-1)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **очная форма обучения** | |
| **Общая трудоемкость** | **3** | **з.е.** |
| **Часов по учебному плану** | **108** | |
| **в том числе** |  | |
| **аудиторные занятия (контактная работа):** | **64** | |
| **- занятия лекционного типа** | **32** | |
| **- занятия семинарского типа** | **32** | |
| **- занятия лабораторного типа** |  | |
|  |  | |
| **- текущий контроль (КСР[[2]](#footnote-2))** | **1** | |
| **самостоятельная работа** | **43** | |
| **Промежуточная аттестация – экзамен/зачет**[[3]](#footnote-3) | **зачет** | |

* 1. **Содержание дисциплины**[[4]](#footnote-4)

| **Очная форма обучения** | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Наименование разделов и тем дисциплины** | **Всего (часы)** | в том числе | | | | |
| **Контактная работа  (работа во взаимодействии с преподавателем), часы**  из них | | | | **СР**1**, часы** |
| **ЗЛеТ**2 | **ЗСеТ**3 | **ЗЛаТ**4 | **Всего** |
|  | Основные понятия теории разностных схем | 10 | 4 | 2 |  | 6 | 4 |
|  | Методы исследования аппроксимации и устойчивости разностных схем. | 40 | 12 | 14 |  | 26 | 14 |
|  | Вариационно-разностные и конечно-элементные методы | 20 | 6 | 6 |  | 12 | 8 |
|  | Математические модели деформируемых тел и оболочек | 20 | 4 | 4 |  | 8 | 12 |
|  | Анализ численных схем теории упругости и теории оболочек | 17 | 6 | 6 |  | 12 | 5 |
|  | Текущий контроль (КСР) | 1 |  |  |  | 1 |  |
|  | ИТОГО | 108 | 32 | 32 |  | 65 | 43 |
|  | 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. 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).

1. **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**[[5]](#footnote-5)

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.

1. **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*.

* 1. **Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**[[6]](#footnote-6)

| **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. | 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 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» |

* 1. **Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения**[[7]](#footnote-7)
     1. **Контрольные вопросы**

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

* + 1. **Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-2**

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.
   * 1. **Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-3**
4. Записать систему базисных и сопряженных сеточных операторов аппроксимации первых частных производных для заданной равномерной двумерной сетки.
5. Построить вариационно-разностную схему заданной вариационной задачи.
6. Построить дискретную конечно-элементную модель заданной вариационной задачи с использованием заданного типа конечного элемента.
7. **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

| **№** | **а) основная литература:** | **К-во**[[8]](#footnote-8) |
| --- | --- | --- |
|  | 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 |
|  | 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 |
|  | 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]](#footnote-9) |
| --- | --- | --- |
|  | Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: Учебное пособие для вузов. М.: Наука, 1989. | 5 |
|  | Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М.: Мир. 1987. 542 с. | 4 |
|  | 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]](#footnote-10) |
| --- | --- | --- |
|  | 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 |

1. **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 ФГОС ВО 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Автор(ы) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_д.ф.-м.н., доцент, Чекмарев Д.Т.

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 24.02.2021 года, протокол № 5.

1. *(ЗАПОЛНИТЬ в соответствии с учебным планом* [↑](#footnote-ref-1)
2. КСР – контроль самостоятельной работы (АВЖ) [↑](#footnote-ref-2)
3. *(указать нужное)* [↑](#footnote-ref-3)
4. *(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)* [↑](#footnote-ref-4)
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)* [↑](#footnote-ref-5)
6. *(при использовании традиционных форм аттестации (зачет, экзамен) шкалы оценивания могут быть «зачет-незачет», «зачет с оценкой», «оценка» по cемибалльной 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)* [↑](#footnote-ref-6)
7. *(ЗАПОЛНИТЬ согласно оценочным средствам табл.2)* [↑](#footnote-ref-7)
8. Указать количество экземпляров в библиотеке ННГУ. Если издание доступно в электронном виде (указана ссылка), указать букву «э». (АВЖ) [↑](#footnote-ref-8)
9. Указать количество экземпляров в библиотеке ННГУ. Если издание доступно в электронном виде (указана ссылка), указать букву «э». (АВЖ) [↑](#footnote-ref-9)
10. Указать букву «л», если программное обеспечение лицензионное, или «с» – в свободном доступе. (АВЖ) [↑](#footnote-ref-10)