

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Калужский филиал  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)



Утверждаю  
Зам. директора  
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана  
по учебной работе

О.Л. Перерва  
«января» 2019 г.

Регистрационный номер ПД. ИУ4-08/19

Факультет «Информатика и управление» (ИУ-КФ)

Кафедра «Программное обеспечение ЭВМ, информационные технологии» ИУ4-КФ

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Моделирование

для направления подготовки 09.03.04 Программная инженерия

бакалавра (профиль «Разработка программно - информационных систем»)

Автор(ы) программы:

Амеличева К.А., доцент [fh1kf@bmstu-kaluga.ru](mailto:fh1kf@bmstu-kaluga.ru)

Никитенко У.В. ст. преподаватель [fh1kf@bmstu-kaluga.ru](mailto:fh1kf@bmstu-kaluga.ru)

Калуга, 2019

Автор(ы) программы:

Амеличева К.А.

Никитенко У. В.

Рецензент:

директор по исследованиям и развитию ООО "НПФ "Эверест"

к.ф.-м.н. Кириллов В.Ю.

Программа утверждена на заседании кафедры ИУ4-КФ «Программное обеспечение ЭВМ, информационные технологии»

Протокол № 54 4/5 от « 24 » 01 2019г.

Заведующий кафедрой ИУ4-КФ «Программное обеспечение ЭВМ, информационные технологии»

Гагарин Ю.Е.

Декан факультета ИУ-КФ

Адкин М.Ю.

Согласованно:

Председатель Методической комиссии КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Перерва О.Л.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....   | 4  |
| 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....  | 6  |
| 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ .....  | 6  |
| 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....   | 7  |
| Модуль 1 «Моделирование и вычислительный эксперимент» .....  | 7  |
| Модуль 2 «Модели микроуровня (уравнения в частных производных)» .....  | 9  |
| Модуль 3 «Приближенно-аналитические методы, интегральные преобразования».....  | 11 |
| Модуль 4 «Метод конечных элементов» .....  | 13 |
| 5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....  | 16 |
| 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....  | 16 |
| 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....   | 17 |
| Основная литература.....   | 17 |
| Дополнительная литература .....  | 17 |
| 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....  | 17 |
| 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....   | 17 |
| 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ ..... | 18 |
| 11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....  | 18 |
| 12. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....   | 19 |

Программа разработана в соответствии с учебным планом КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана по направлению подготовки 09.03.04 Программная инженерия (профиль – «Разработка программно-информационных систем»).

# **1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Для категорий «знания», «умения», «навыки» планируется достижение следующих результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы – формируемыми компетенциями:

- готовностью применять основные методы и инструменты разработки программного обеспечения (СПК-1).

| Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с соответствующей компетенцией  |  |  |
|---|--|--|
| Обучающийся должен знать:   | Обучающийся должен уметь:  | Обучающийся должен владеть:  |
| языки программирования и их назначение; среды программирования; специализированные программные продукты, применяемые в моделировании; технологии производства программного обеспечения; способы хранения и обработки информации о математических объектах на ЭВМ; способы визуализации и презентации результатов расчетов | использовать языки программирования для построения алгоритмов вычислительной математики; использовать среды и технологии программирования для оптимизации процесса разработки вычислительного программного обеспечения; использовать специализированные программные пакеты и библиотеки для стандартных вычислений и визуализации результатов вычислений; выполнять презентацию результатов вычислений | навыками использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов вычислений |

- готовностью к использованию методов и инструментальных средств исследования объектов профессиональной деятельности (СПК-13).

| Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с соответствующей компетенцией   |  |   |
|--|--|---|
| Обучающийся должен знать:  | Обучающийся должен уметь:  | Обучающийся должен владеть:   |
| области применения моделирования; виды моделирования; задачи, решаемые при помощи моделирования; связь моделирования с различными техническими и гуманитарными науками; основы методологии моделирования; классификацию дифференциальных | выполнять анализ возможностей построения моделей; выделять наиболее важные свойства объектов и систем для моделирования; выполнять классификацию ДУЧП2; использовать методы разделения переменных, Даламбера, интегральных преобразований для аналитического решения | навыками анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования; навыками классификации ДУЧП2; навыками использования методов разделения переменных, Даламбера, интегральных преобразований для |

|  |  |   |
|--|--|---|
| уравнений в частных производных; аналитические, приближенно-аналитические, численные методы решения ОДУ и ДУЧП2; принципы построения математических моделей физических процессов; способы описания трудноформализуемых объектов и систем | ДУЧП2; использовать проекционные методы решения ДУЧП2; использовать методы конечных разностей и конечных элементов для решения ДУЧП2; осуществлять дискретизацию непрерывных областей произвольной размерности; осуществлять триангуляцию поверхностей | аналитического решения ДУЧП2; навыками использования проекционных методов решения ДУЧП2; навыками использования методов конечных разностей и конечных элементов для решения ДУЧП2; навыками дискретизации непрерывных областей произвольной размерности; навыками триангуляции поверхностей |
|--|--|---|

Виды **профессиональной деятельности**, к которым готовится обучающийся при освоении дисциплины:

- производственно-технологическая.
- научно-исследовательская.

Обучающийся, при освоении дисциплины в соответствии с видами профессиональной деятельности готовится решать следующие **профессиональные задачи**:

- взаимодействие с заказчиком для сбора и анализа требований к моделям, содействие заказчику в оценке и выборе вариантов моделей;
- использование методов построения, реализации и анализа моделей в различных предметных областях;
- участие в процессах разработки вычислительного программного обеспечения реализующего математические модели объектов и процессов различной природы.
- участие в проведении научных экспериментов, связанных с моделированием, в соответствии с утвержденными заданиями и методиками;
- реализация и анализ математических моделей с использованием инструментальных средств компьютерного моделирования;
- составление описания проводимых исследований моделей, подготовка данных для составления обзоров и отчетов.

**Объектами профессиональной деятельности выпускников**, освоивших дисциплину в составе образовательной программы, являются:

- физические и математические модели в различных предметных областях;
- программное обеспечение для построения и реализации моделей;
- методы и инструменты реализации математических моделей;
- нормативно-техническая документация, системы стандартизации и сертификации, применяемые в моделировании.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в Блок Б.1.В «Дисциплины (модули)» и относится к обязательным дисциплинам вариативной части.

Изучение дисциплины предполагает предварительное освоение следующих дисциплин (практик) учебного плана: Математический анализ, Аналитическая геометрия, Высокоуровневое программирование, Теоретическая информатика, Интегралы и дифференциальные уравнения, Дискретная математика, Вычислительные алгоритмы, Объектно-ориентированное программирование, Научно-исследовательская работа.

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для подготовки выпускной квалификационной работы

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

| Содержание дисциплины                                       | Всего      | Распределение по семестрам |                        |
|---|------------|----------------------------|------------------------|
|   |            | 6 семестр<br>17 недель     | 7 семестр<br>17 недель |
| <b>Объем дисциплины, з.е.</b>                               | <b>8</b>   | <b>3</b>                   | <b>5</b>               |
| <b>Объем дисциплины, час.</b>                               | <b>288</b> | <b>108</b>                 | <b>180</b>             |
| Промежуточная аттестация                                    |            | Экзамен                    | Экзамен                |
| <b>Контактная работа обучающихся с преподавателем, час.</b> | <b>102</b> | <b>34</b>                  | <b>68</b>              |
| – Лекции (Л)  | 51         | 17                         | 34                     |
| – Семинары (С)  | -          | -                          | -                      |
| – Практические занятия (ПЗ)                                 | -          | -                          | -                      |
| – Лабораторные работы (ЛР)                                  | 51         | 17                         | 34                     |
| <b>Самостоятельная работа обучающихся, час.</b>             | <b>186</b> | <b>74</b>                  | <b>112</b>             |
| – Подготовка к практическим занятиям                        | -          | -                          | -                      |
| – Подготовка к выполнению/защите лабораторных работ         | 24         | 7                          | 17                     |
| – Подготовка к выполнению контрольных работ                 | 6          | 6                          | -                      |
| – Самостоятельное дополнение конспекта лекций               | 8          | -                          | 8                      |
| – Самостоятельное изучение разделов дисциплины              | 9          |                            | 9                      |
| – Выполнение домашних работ                                 | 40         | 16                         | 24                     |
| – Подготовка/сдача экзамена                                 | 99         | 45                         | 54                     |

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### Содержание дисциплины, структурированное по видам занятий

| Модули и проекты   | Виды учебных занятий |                                      |                          |                              | Итого      |
|--|----------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------------------|------------|
|  | Лекции, час          | Практические занятия (семинары), час | Лабораторные работы, час | Самостоятельная работа, час. |            |
| <b>6 семестр</b>   | <b>17</b>            |                                      | <b>17</b>                | <b>74</b>                    | <b>108</b> |
| Модуль 1 «Моделирование и вычислительный эксперимент»                    | 8                    |                                      | 8                        | 14                           | 30         |
| Модуль 2 «Модели микроуровня (уравнения в частных производных)»          | 9                    |                                      | 9                        | 15                           | 33         |
| Подготовка/сдача экзамена  | -                    |                                      | -                        | 45                           | 45         |
| <b>7 семестр</b>   | <b>34</b>            |                                      | <b>34</b>                | <b>112</b>                   | <b>180</b> |
| Модуль 3 «Приближенно-аналитические методы, интегральные преобразования» | 18                   |                                      | 18                       | 24                           | 60         |
| Модуль 4 «Метод конечных элементов»                                      | 16                   |                                      | 16                       | 34                           | 66         |
| Подготовка/сдача экзамена  | -                    |                                      | -                        | 54                           | 54         |

##### Содержание дисциплины, структурированное по разделам (модулям, темам)

##### Модуль 1 «Моделирование и вычислительный эксперимент»

| Содержание дисциплины                                  | Объем в часах | Сроки проведения, недели |
|--|---------------|--------------------------|
| Лекции   | 8             | 1-7                      |
| Лабораторные работы                                    | 8             | 1-7                      |
| Самостоятельная работа:                                |               |                          |
| ▪ подготовка к выполнению/защите лабораторных работ,   | 3             | 1-7                      |
| ▪ подготовка к выполнению контрольной работы по модулю | 3             | 7                        |
| ▪ подготовка к выполнению домашней работы              | 8             | 2 - 6                    |
| Трудоемкость, час                                      | <b>30</b>     |                          |

|       | Лекции   |
|-------|--|
| Л 1.1 | <b>Введение в моделирование – 2 часа.</b><br>Введение в дисциплину. Роль моделирования в развитии науки и техники. Классификация моделей. Особенности математического моделирования. Роль ЭВМ в моделировании. Программные средства научных и инженерных расчетов. |
| Л 1.2 | <b>Вычислительный эксперимент – 2 часа.</b><br>Понятие и структура вычислительного эксперимента. Виды вычислительного эксперимента. Примеры организации и планирования вычислительного эксперимента.   |
| Л 1.3 | <b>Классификация уравнений математической физики – 4 часа.</b><br>Природа уравнений математической физики. Классификация уравнений математической физики: понятия и определения. Приведение ДУЧП2 к  |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
|                               | каноническому виду. Редукция ДУЧП2.   |
| <b>Лабораторные работы</b>    |   |
| ЛР 1.1                        | <p><b>Методы численного дифференцирования – 4 часа.</b></p> <p>Цель работы: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов численной аппроксимации производных и обоснования выбора алгоритма аппроксимации.</p> <p>Задачи: Изучить методы аппроксимации производных, методы оценки точности аппроксимации, методы повышения точности аппроксимации, количественные характеристики методов, написать программы, указанные в вариантах.</p>  |
| ЛР 1.2                        | <p><b>Численное решение стационарных и нестационарных задач теплопроводности – 4 часа.</b></p> <p>Цель работы: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов применения метода конечных разностей.</p> <p>Задачи: Построить разностные схемы для предложенного уравнения. Оценить точность аппроксимации. Оценить устойчивость и сходимость. Выбрать среду для проведения расчетов и вычислительного эксперимента. Написать программу, реализующую решение разностной задачи. Оценить результаты расчетов. Визуализировать результаты.</p> |
| <b>Самостоятельная работа</b> |   |
| СР 1.1                        | <p><b>Подготовка к выполнению/защите лабораторных работ – 3 час.</b></p> <p>Изучение методических указаний, составление отчета по лабораторным работам, проработка контрольных вопросов.</p>  |
| СР 1.2                        | <p><b>Подготовка к выполнению контрольной работы по модулю – 3 час.</b></p> <p>Повторение материала по пройденным разделам дисциплины.</p>  |
| СР 1.3                        | <p><b>Выполнение домашней работы «Модели – ДУЧП 2-го порядка» – 8 час.</b></p> <p>Цель: овладеть навыками использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов вычислений; выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования; навыками классификации ДУЧП2;</p> <p>Задачи:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Самостоятельно изучить синтаксис и важнейшие структуры библиотеки символьной математики пакета Matlab.</li> <li>2. Установление соответствия моделей и физических процессов.</li> <li>3. Приведение ДУЧП2 2-го порядка к каноническому виду.</li> </ol>   |



## Модуль 2 «Модели микроуровня (уравнения в частных производных)»

| Содержание дисциплины                                  | Объем<br>в часах | Сроки<br>проведения,<br>недели |
|--|------------------|--------------------------------|
| Лекции   | 9                | 8-17                           |
| Лабораторные работы                                    | 9                | 8-17                           |
| Самостоятельная работа:                                |                  |                                |
| ▪ подготовка к выполнению/защите лабораторных работ,   | 4                | 8-17                           |
| ▪ подготовка к выполнению контрольной работы по модулю | 3                | 12                             |
| ▪ домашняя работа по модулю.                           | 8                | 8-15                           |
| Трудоемкость, час.                                     | <b>33</b>        |                                |

|       | Лекции   |
|-------|--|
| Л 2.1 | <b>Гиперболические ДУЧП2 – 2 часа.</b><br>Моделирование колебательных процессов ДУЧП2 гиперболического типа. Метод Даламбера. Метод Римана.  |
| Л 2.2 | <b>Метод разделения переменных – 3 часа.</b><br>Метод разделения переменных для однородного ДУЧП2. Задача Штурма-Лиувилля. Метод разделения переменных для неоднородного ДУЧП2. Ортогональные системы функций. Общая схема метода разделения переменных. Специальные функции. Особые задачи. |
| Л 2.3 | <b>Параболические ДУЧП2 – 2 часа.</b><br>Моделирование необратимых процессов ДУЧП2 параболического типа. Метод разделения переменных для ДУЧП2 параболического типа.   |
| Л 2.4 | <b>Эллиптические ДУЧП2 – 2 часа.</b><br>Моделирование стационарных процессов ДУЧП2 эллиптического типа. Метод разделения переменных для уравнений эллиптического типа.   |

|        | Лабораторные работы   |
|--------|---|
| ЛР 2.1 | <b>Применение базовых методов решения ДУЧП2 гиперболического типа – 3 часа.</b><br>Цель работы: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов численного или приближенно-аналитического решения ДУЧП2 гиперболического типа на основе сравнения результатов.<br><br>Задачи: решить уравнение, указанное в варианте численными методами и методом разделения переменных (Фурье), сравнить результаты, выдвинуть и обосновать гипотезу целесообразности использования того или иного метода в зависимости от предложенной задачи и ее вариаций, точности результата, трудоемкости, сложности алгоритма, сложности обоснования применимости метода, вычислительной эффективности алгоритма. Визуализировать результаты. |
| ЛР 2.2 | <b>Применение базовых методов решения ДУЧП2 параболического типа – 3 часа.</b><br>Цель работы: сформировать практические навыки анализа возможностей  |

|        |   |
|--------|---|
|        | <p>построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов численного или приближенно-аналитического решения ДУЧП2 параболического типа на основе сравнения результатов.</p> <p>Задачи: решить уравнение, указанное в варианте численными методами и методом разделения переменных (Фурье), построить явную и неявную разностные схемы для предложенного уравнения. Оценить точность аппроксимации. Оценить устойчивость и сходимость. Выбрать среду для проведения расчетов и вычислительного эксперимента. Написать программу, реализующую решение разностной задачи. Оценить результаты расчетов. Визуализировать результаты.</p>   |
| ЛР 2.3 | <p><b>Применение базовых методов решения ДУЧП2 эллиптического типа – 3 часа.</b><br/>Цель работы: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов численного или приближенно-аналитического решения ДУЧП2 эллиптического типа на основе сравнения результатов.</p> <p>Задачи: решить уравнение, указанное в варианте численными методами и методом разделения переменных (Фурье), построить консервативную и простую неявную разностные схемы для предложенного уравнения. Оценить точность аппроксимации. Оценить устойчивость и сходимость. Выбрать среду для проведения расчетов и вычислительного эксперимента. Написать программу, реализующую решение разностной задачи. Оценить результаты расчетов. Визуализировать результаты, сравнить результаты, выдвинуть и обосновать гипотезу целесообразности использования того или иного метода в зависимости от предложенной задачи и ее вариаций, точности результата, трудоемкости, сложности алгоритма, сложности обоснования применимости метода, вычислительной эффективности алгоритма. Визуализировать результаты.</p> |

|        |   |
|--------|---|
|        | <b>Самостоятельная работа</b>   |
| СР 2.1 | <p><b>Подготовка к выполнению/защите лабораторных работ – 4 час.</b><br/>Изучение методических указаний, составление отчета по лабораторным работам, проработка контрольных вопросов.</p>   |
| СР 2.2 | <p><b>Подготовка к выполнению контрольной работы по модулю – 3 час.</b><br/>Повторение материала по пройденным разделам дисциплины.</p>   |
| СР 2.3 | <p><b>Выполнение домашней работы «Аналитическое решение ДУЧП2» – 8 час.</b><br/>Цель: навыками использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов вычислений; навыками анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования; практических навыков решения ДУЧП2.<br/>Задачи: решить методом разделения переменных краевые задачи для ДУЧП2 гиперболического, параболического и эллиптического типов. Визуализировать результаты вычислений.</p> |

|       |   |
|-------|---|
| СРЭ 1 | <b>Подготовка/сдача экзамена – 45 час.</b>  |
|       | Повторение освоенного материала по разделам дисциплины, обобщение и систематизация полученных знаний, проработка практических умений и навыков – 45 час.<br>Самостоятельная подготовка развернутого ответа на экзаменационные вопросы: Уравнения, порождающие специальные функции. Типовые ситуации использования цилиндрических и сферических функций, применение ортогональных систем специальных функций для решения ДУЧП-2 – 9 час. |

### Модуль 3 «Приближенно-аналитические методы, интегральные преобразования»

| Содержание дисциплины                                | Объем в часах | Сроки проведения, недели |
|--|---------------|--------------------------|
| Лекции   | 18            | 1-9                      |
| Лабораторные работы                                  | 18            | 1-9                      |
| Самостоятельная работа:                              |               |                          |
| ▪ подготовка к выполнению/защите лабораторных работ, | 8             | 1-9                      |
| ▪ самостоятельное дополнение конспекта лекций        | 4             | 1-9                      |
| ▪ подготовка к выполнению домашней работы            | 12            | 5-8                      |
| Трудоемкость, час                                    | <b>60</b>     |                          |

|       | Лекции   |
|-------|--|
| Л 3.1 | <b>Базисы в гильбертовом пространстве – 2 часа.</b><br>Операторы и функционалы в гильбертовом пространстве. Энергетическое пространство. Базисные системы функций. Особенности выбора. Критерий базисности.                              |
| Л 3.2 | <b>Приближенные методы. Общая схема построения приближенных методов – 2 часа.</b><br>Погрешности приближенных методов. Метод малого параметра. ММП. Примеры.   |
| Л 3.3 | <b>Проекционные методы. Общий подход к построению проекционных методов - 2 часа.</b><br>Метод ортогональных проекций. Метод Бубнова-Галеркина. Метод Ритца.  |
| Л 3.4 | <b>Отдельные приближенные методы - 2 часа.</b><br>Дискретный и интегральный МНК. Метод коллокаций в подобластях и точках.  |
| Л 3.5 | <b>Применение интегральных преобразований к решению ДУЧП2 - 2 часа.</b><br>Интегральные преобразования с бесконечными пределами. Сущность применения интегральных преобразований в решении ДУЧП2. Синус- и косинус-преобразование Фурье. |
| Л 3.6 | <b>Интегральные преобразования с бесконечными пределами - 2 часа.</b><br>Преобразование Лапласа. Преобразование Меллина. Преобразование с ядром. Преобразование Ханкеля. Преобразование Лежандра.  |
| Л 3.7 | <b>Интегральные преобразования с конечными пределами - 4 часа.</b><br>Представление об интегральных преобразованиях с конечными пределами. Выбор ядра. Связь проблемы с задачей Штурма-Лиувилля.   |

|       |   |
|-------|---|
| Л 3.8 | <b>Операционный метод - 2 часа.</b><br>Свойства преобразования Лапласа. Теоремы разложения. Примеры применения. |
|-------|---|

|        |   |
|--------|---|
|        | <b>Лабораторные работы</b>  |
| ЛР 3.1 | <p><b>Применение базовых приближенно-аналитических методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений – 6 часов.</b></p> <p>Цель работы: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов решения обыкновенных дифференциальных уравнений на основе сравнения результатов.</p> <p>Задачи: решить уравнение, указанное в варианте не менее, чем пятью из предложенных методов, сравнить результаты, выдвинуть и обосновать гипотезу целесообразности использования того или иного метода в зависимости от предложенной задачи и ее вариаций, точности результата, трудоемкости, сложности алгоритма, сложности обоснования применимости метода, вычислительной эффективности алгоритма. Визуализировать результаты.</p>                           |
| ЛР 3.2 | <p><b>Применение проекционных методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений – 4 часов.</b></p> <p>Цель работы: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов использования проекционного метода численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений, на основе сравнения результатов.</p> <p>Задачи: решить уравнение, указанное в варианте не менее, чем двумя из предложенных методов, сравнить результаты, выдвинуть и обосновать гипотезу целесообразности использования того или иного метода в зависимости от предложенной задачи и ее вариаций, точности результата, трудоемкости, сложности алгоритма, сложности обоснования применимости метода, вычислительной эффективности алгоритма. Визуализировать результаты.</p> |
| ЛР 3.3 | <p><b>Интегральные преобразования и решение ДУЧП2 - 4 часов.</b></p> <p>Цель работы: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов использования интегральных преобразований при решении ДУЧП2 на основе сравнения результатов.</p> <p>Задачи: применить интегральные преобразования к уравнению, указанному в варианте, сравнить результаты, выдвинуть и обосновать гипотезу целесообразности использования того или иного подхода в зависимости от предложенной задачи и ее вариаций, точности результата, трудоемкости, сложности алгоритма, сложности обоснования применимости метода, вычислительной эффективности алгоритма. Визуализировать результаты.</p>   |
| ЛР 3.4 | <p><b>Операционный метод - 4 часов.</b></p> <p>Цель работы: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и</p>  |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов использования операционного метода при решении ДУЧП2 на основе сравнения результатов.</p> <p>Задачи: применить операционный метод к уравнению, указанному в варианте, сравнить результаты, выдвинуть и обосновать гипотезу целесообразности использования того или иного подхода в зависимости от предложенной задачи и ее вариаций, точности результата, трудоемкости, сложности алгоритма, сложности обоснования применимости метода, вычислительной эффективности алгоритма. Визуализировать результаты.</p> |
|--|--|

|        | <b>Самостоятельная работа</b>   |
|--------|---|
| СР 3.1 | <p><b>Подготовка к выполнению/защите лабораторных работ – 8 час.</b></p> <p>Изучение методических указаний, составление отчета по лабораторным работам, проработка контрольных вопросов.</p>  |
| СР 3.2 | <p><b>Самостоятельное дополнение конспекта лекций по теме Л 3.1 «Базисы в гильбертовом пространстве».– 4 час.</b></p> <p>Вопрос для самостоятельного изучения: сопряженные пространства и сопряженные операторы.</p>  |
| СР 3.3 | <p><b>Выполнение домашней работы «Интегральные преобразования» – 12 час.</b></p> <p>Цели: навыками использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов вычислений; навыками анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования; применение интегральных преобразований к решению ДУЧП2</p> <p>Задачи: интегральные преобразования с бесконечными пределами; применения интегральных преобразований в решении ДУЧП2; синус- и косинус-преобразование Фурье.</p> |

#### **Модуль 4 «Метод конечных элементов»**

| Содержание дисциплины                                | Объем<br>в часах | Сроки<br>проведения,<br>недели |
|--|------------------|--------------------------------|
| Лекции   | 16               | 10-17                          |
| Лабораторные работы                                  | 16               | 10-17                          |
| Самостоятельная работа:                              |                  |                                |
| ▪ подготовка к выполнению/защите лабораторных работ, | 9                | 10-17                          |
| ▪ самостоятельное дополнение конспекта лекций        | 4                | 10-17                          |
| ▪ самостоятельное изучение раздела дисциплины        | 9                | 10-17                          |
| ▪ подготовка к выполнению домашней работы            | 12               | 10-13                          |
| Трудоемкость, час                                    | <b>66</b>        |                                |

|       | <b>Лекции</b>  |
|-------|--|
| Л 4.1 | <p><b>Приближенно-аналитические методы решения дифференциальных уравнений – 2 часа.</b></p> <p>Общая схема построения приближенно-аналитических методов. Проекционные методы решения дифференциальных уравнений.</p> |

|       |  |
|-------|--|
| Л 4.2 | <b>Основные понятия вариационного исчисления. – 3 часа.</b><br>Понятие и природа функционала. Первая вариация. Критерий экстремума функционала. Уравнение Эйлера.                          |
| Л 4.3 | <b>Пример решения одномерной краевой задачи методом конечных элементов – 3 часа.</b><br>Решение одномерной задачи теплопроводности методом конечных элементов. Общая схема применения МКЭ. |
| Л 4.4 | <b>Типы конечных элементов – 4 часов.</b><br>Классификация КЭ. Методы построения КЭ. Прикладные методы разбиения областей, триангуляция Делоне.  |
| Л 4.5 | <b>Матричная форма представления функций – 2 часа.</b><br>Основные матричные соотношения МКЭ. Примеры применения.  |
| Л 4.6 | <b>Основы метода граничных элементов. Обзор. – 2 часа.</b><br>Граничные интегральные уравнения. Аппроксимация функций на границе.  |

|        |  |
|--------|--|
|        | <b>Лабораторные работы</b>   |
| ЛР 4.1 | <b>Основные понятия вариационного исчисления, решение одномерной краевой задачи методом конечных элементов – 4 часа.</b><br>Цель работы: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов решения одномерной краевой задачи методом конечных элементов.<br>Задачи: решить поставленные задачи ВИ, решить стационарную задачу теплопроводности МКЭ. |
| ЛР 4.2 | <b>Методы построения КЭ. Прикладные методы разбиения областей, триангуляция Делоне– 4 часа.</b><br>Цель работы: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов решения задачи триангуляции области.<br>Задачи: разбить прямоугольную область на треугольные КЭ, построить матрицу конечных элементов,  |
| ЛР 4.3 | <b>Методы построения КЭ. Интерполяция произвольных функций в финитных базисах– 4 часа.</b><br>Цели: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов решения задачи интерполяции произвольных функций КЭ.<br>Задачи: разбить произвольную область на треугольные КЭ, построить матрицу конечных элементов, построить интерполяционные многочлены.  |

|        |  |
|--------|--|
| ЛР 4.4 | <p><b>Решение задачи теплопроводности МКЭ - 4 часа.</b></p> <p>Цели: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов решения задачи теплопроводности МКЭ.</p> <p>Задачи: разбить заданную область на КЭ, привести задачу к СЛАУ используя идеи МКЭ. Решить полученную СЛАУ наиболее эффективным методом. Визуализировать результат.</p> |
|--------|--|

|        | <b>Самостоятельная работа</b>  |
|--------|--|
| СР 4.1 | <p><b>Подготовка к выполнению/защите лабораторных работ – 9 час.</b></p> <p>Изучение методических указаний, составление отчета по лабораторным работам, проработка контрольных вопросов.</p>   |
| СР 4.2 | <p><b>Самостоятельное дополнение конспекта лекций по теме Л 4.4 «Типы конечных элементов» – 4 час.</b></p> <p>Вопрос для самостоятельного изучения: Алгоритм Киркпатрика построения выпуклой оболочки методом «разделяй и властвуй».</p>   |
| СР 4.3 | <p><b>Самостоятельное изучение раздела дисциплины «Метод конечных объемов» – 9 час.</b></p> <p>Вопросы для самостоятельного изучения: неформальное описание метода. Математическое описание метода. Модификации метода.</p>  |
| СР 4.4 | <p><b>Выполнение домашней работы «Метод конечных элементов» – 12 час.</b></p> <p>Цели: сформировать практические навыки анализа возможностей построения и выделения наиболее важных свойств объектов моделей для моделирования и использования специализированных программных пакетов и библиотек для стандартных вычислений и визуализации результатов решения задачи теплопроводности МКЭ. применение МКЭ к решению УМФ</p> <p>Задачи: разбиение области на КЭ, ансамблирование, решение полученной СЛАУ, сравнение результатов с контрольными значениями.</p> |

|       |  |
|-------|--|
| СРЭ 2 | <p><b>Подготовка/сдача экзамена – 54 час.</b></p> <p>Повторение освоенного материала по разделам дисциплины, обобщение и систематизация полученных знаний, проработка практических умений и навыков – 36 час.</p> <p>Самостоятельная подготовка развернутого ответа на экзаменационные вопросы: Использование параллельных вычислений. Привести примеры параллелизации вычислений при дискретизации области по принципу Делоне – 9 час.</p> <p>Математическое моделирование трудноформализуемых объектов на примере соперничества – 9 час.</p> |
|-------|--|

## **5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Дьяконов, В.П. MATLAB. Полный самоучитель [Электронный ресурс] / В.П. Дьяконов. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 768 с: URL <http://www.iprbookshop.ru/7911> (СР 1.1, СР 2.1).
2. Румянцев А.В. Метод конечных элементов в задачах теплопроводности [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.В. Румянцев. — Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2011. — 113 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/23800.html> (СР 4.2).
3. Малов, Ю.И. Волновое уравнение: Метод. указания к выполнению типового расчета по курсу «Уравнения математической физики» [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие / Ю.И. Малов, М.М. Сержантова, А.В. Чередниченко.. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 47 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/58467> (СР 1.2).
4. Никитенко У.В. Модели - ДУЧП2 2-го порядка: Методические указания по выполнению домашнего задания по курсу «Моделирование» / У.В. Никитенко – Калуга: КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 20 с. (СР 1.3).

## **6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Фонд оценочных средств приведен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.



## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

1. Вагер, Б. Г. Численные методы [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б. Г. Вагер. — СПб. : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 152 с. — 978-5-9227-0786-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78584.html>

### Дополнительная литература

2. Власова Е.А., Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н. Приближённые методы математической физики[Текст] - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 704 с.
3. Крепкогорский В.Л. Функциональный анализ[Электронный ресурс]: учебное пособие/В.Л. Крепкогорский. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 116 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/62016.html>
4. Куликов, Г. М. Метод Фурье в уравнениях математической физики [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г. М. Куликов, А. Д. Нахман. —Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 91 с.: <http://www.iprbookshop.ru/71568.html>
5. Мартинсон Л.К., Малов Ю.И. Дифференциальные уравнения математической физики[Текст]- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 368 с.
6. Тарасов, В. Н. Численные методы. Теория, алгоритмы, программы [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Н. Тарасов, Н. Ф. Бахарева. —Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2017. — 266 с.: <http://www.iprbookshop.ru/71903.html>
7. Треногин, В.А. Уравнения в частных производных [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В.А. Треногин, И.С. Недосекина. - М.: Физматлит, 2013. — 227 с.: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275574>

### ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Научная электронная библиотека <http://eLIBRARY.RU>.
2. Электронно-библиотечная система <http://e.lanbook.com>.
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» <http://biblioclub.ru>.
4. Электронно-библиотечная система <https://www.biblio-online.ru>.

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Приступая к освоению дисциплины обучающийся должен принимать во внимание следующие положения.

Дисциплина построена по модульному принципу, каждый модуль представляет собой логически завершённый раздел курса.

**Лекционные занятия** посвящены рассмотрению ключевых, базовых положений курса и разъяснению учебных заданий, выносимых на самостоятельную проработку.

**Лабораторные работы** предназначены для приобретения умений и навыков для решения практических задач в предметной области дисциплины. Лабораторные работы обеспечены методическими указаниями по их выполнению:

1. Никитенко У.В. Лабораторный практикум по курсу «Моделирование» / У.В. Никитенко. — Калуга: КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 50 с. (ЛР 1.1-2.3).

**Самостоятельная работа** студентов включает проработку лекционного курса, выполнение домашних заданий. Самостоятельная работа предусматривает также расширение материалов

лекционного курса на основе поиска, анализа, структурирования и представления в компактном виде современной информации из всех возможных источников. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине приведен в разделе 5.

**Оценивание освоения дисциплины** ведется в соответствии с Положением о порядке организации и проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся. Текущий контроль успеваемости осуществляется по модулям по графику учебного процесса. Промежуточная аттестация по результатам семестра по дисциплине проходит в форме экзамена.

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ**

### **Информационные технологии:**

Предусмотрена возможность асинхронного взаимодействия студентов и преподавателей посредством технологий и служб по пересылке и получению электронных сообщений между пользователями компьютерной сети Интернет. Студентам передаются в электронном виде необходимые для освоения дисциплины перечень основной и дополнительной литературы, перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся, раздаточный материал и методические указания. Электронная информационно-образовательная среда КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана обеспечивает доступ к рабочей программе дисциплины, к изданиям электронных библиотечных систем и электронным образовательным ресурсам, указанным в рабочей программе дисциплины, фиксацию хода образовательного процесса и результатов промежуточной аттестации по дисциплине.

### **Программное обеспечение:**

1. Microsoft Windows.
2. Matlab.
3. Microsoft Office.

### **Информационные и справочные системы:**

1. Общероссийский математический портал <http://www.mathnet.ru/>.
2. Научно-технический журнал «САПР и графика» <http://sapr.ru>.

## **11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Учебные аудитории КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана для проведения занятий лекционного типа и практических занятий укомплектованы специализированной мебелью и средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду.
3. Для проведения лабораторных работ используются оборудование и средства технологического оснащения лабораторий кафедры «Программное обеспечение ЭВМ, информационные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана:  
– персональные компьютеры с установленным на них лицензионным программным обеспечением.

## **12. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Компетентностный подход при освоении дисциплины реализуется через использование в учебном процессе активных методов обучения – таких взаимных действий преподавателя и обучающихся, которые побуждают последних к активной мыслительной и практической деятельности в процессе овладения изучаемым материалом. При экстрактивном режиме обучения студент выступает только в роли обучаемого, при интерактивном режиме обучения – студент вовлекается во взаимонаправленные информационные потоки: студент – группа студентов – преподаватель.

В интерактивных режимах по дисциплине проводятся:

– **Лекция проблемная** по темам Л 1.3, Л 2.2, Л 4.2.

Лектор совместно со студентами формулируют проблему и в ходе организуемого активного диалога ищут способы решения проблемы, формулируют новое знание (лекция-диалог).

– **Поисковые лабораторные работы** по темам лабораторных работ ЛР 4.2, ЛР 4.4.

Формируются умения делать теоретические выводы на основе наблюдаемых явлений, навыки использования методов физического и математического моделирования и анализа при решении конкретных задач.