

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  В.И. Ряжских  
«31» августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
«Вычислительный эксперимент в основных задачах теплофизики»

**Направление подготовки** 13.06.01 Электро- и теплотехника

**Направленность** 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

**Квалификация выпускника** Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** Очная

**Год начала подготовки** 2021 г.

Автор программы



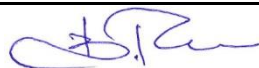
/ В.И. Ряжских /

Заведующий кафедрой  
Прикладной математики и  
механики



/ В.И. Ряжских /

Руководитель ОПОП



/ В.И. Ряжских /

Воронеж 2021

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цели дисциплины**

Обучить аспиранта основам применения совокупной системы, состоящей из математической модели, ее программной реализации для генерирования параметрической матрицы основных характеристик изучаемого процесс или явления.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины**

Синтез и специфическая организация исследований, при которой свойства явлений и предметов изучаются с помощью вычислительного эксперимента, основанного на математических моделях теплофизических задач различного предметно-ориентированного назначения;

изучения реального теплофизического объекта с помощью их математических моделей, изображения которых представлено в кодах специально разработанных объектов с помощью классических решателей – вычислительных платформ.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП**

Дисциплина «Вычислительный эксперимент в основных задачах теплофизики» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1 учебного плана.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Процесс изучения дисциплины «Моделирование процессов тепло- и массообмена в энергетических установках» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-3 - способностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности;

ПК-4 - способность и готовность оценивать техническое состояние объектов и систем электро- и теплоэнергетики с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации, понимать проблемы научно-технического развития сырьевой базы и современных технологий по утилизации отходов в энергетике и научно-техническую политику в этой области.

| <b>Компетенция</b> | <b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>          |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-3              | знать особенности изучаемой теплофизической системы и механизмы явлений переноса; |
|                    | уметь синтезировать имитационные модели                                           |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | изучаемых теплофизических явлений процессов и объектов;                                                                                                                                                                                        |
|      | владеть информационно-вычислительным инструментарием стандартных математических платформ или принципами разработки собственных предметно-ориентированных программных комплексов на базе универсальных языков кодировки;                        |
| ПК-4 | знать стандартный набор современных высокоточных контрольно-измерительных элементов при проведении теплофизических экспериментов;                                                                                                              |
|      | уметь организовывать с помощью контрольно-измерительных средств системы регистрации основных теплофизических свойств изучаемых объектов в различных фазовых состояниях;                                                                        |
|      | владеть методами планирования и статистического анализа точности измеряемых параметров с использованием набора стандартных математических пакетов предназначенных для получения регрессионных соотношений и проведения дисперсионного анализа. |

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Моделирование процессов тепло- и массообмена в энергетических установках» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

| Вид учебной работы                                        | Всего часов | Семестры |     |  |  |
|-----------------------------------------------------------|-------------|----------|-----|--|--|
|                                                           |             | 5        |     |  |  |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                         | 10          | 10       |     |  |  |
| В том числе:                                              |             |          |     |  |  |
| Лекции,<br>в том числе в форме практической<br>подготовки | 10          | 10       |     |  |  |
| Практические занятия (ПЗ)                                 | -           | -        |     |  |  |
| <b>Самостоятельная работа</b>                             | 98          | 98       |     |  |  |
| Реферат                                                   | -           | -        |     |  |  |
| Вид промежуточной аттестации – зачет                      |             | зачет    |     |  |  |
| Общая трудоемкость                                        | час         | 108      | 108 |  |  |
|                                                           | зач. ед.    | 3        | 3   |  |  |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

| № п/п        | Наименование темы                                                                               | Содержание раздела                                                                                                                                                 | Лекц      | СРС       | Всего, час |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|------------|
| 1            | Качественный анализ теплофизической проблемы или задачи, и построение его математической модели | Выбор свойств объекта. Построение вычислительной (математической) модели. формирование условия применимости модели с учетом особенностей теплофизического объекта. | 2         | 20        | 22         |
| 2            | Разработка вычислительных алгоритмов                                                            | Разработка метода расчета математической задачи (вычислительного алгоритма) в виде алгебраических формул и логических условий.                                     | 2         | 20        | 22         |
| 3            | Создание программы, реализующей вычислительный алгоритм                                         | Создание проекта кода на одном из языков высокого уровня в системах Maple, Mathcad, Matlab, FlexPde, Comsol, Ansys                                                 | 2         | 20        | 22         |
| 4            | Наполнение расчетного массива с помощью компьютерных систем                                     | Построение матрицы планирования вычислительного эксперимента и отработка тестовых примеров в теплофизической предметной области.                                   | 2         | 18        | 20         |
| 5            | Обработка и анализ данных вычислительного эксперимента                                          | Построение регрессионных уравнений и дисперсионный анализ с указанием области применимости результатов вычислительного эксперимента.                               | 2         | 20        | 22         |
| <b>Итого</b> |                                                                                                 |                                                                                                                                                                    | <b>10</b> | <b>98</b> | <b>108</b> |

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА РЕФЕРАТОВ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение реферата.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                               | Критерии оценивания                                                                                                                 | Аттестован                                                    | Не аттестован                                                   |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ОПК-3       | знать особенности изучаемой теплофизической системы и механизмы явлений переноса;               | Обучающийся знает теоретический материал, относящийся к данной компетенции. Может его воспроизвести ответить на уточняющие вопросы. | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | уметь синтезировать имитационные модели изучаемых теплофизических явлений процессов и объектов; | Обучающийся демонстрирует умения (с различной степенью самостоятельности), относящиеся к данной компетенции.                        | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                               |                                                                 |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|      | владеть информационно-вычислительным инструментарием стандартных математических платформ или принципами разработки собственных предметно-ориентированных программных комплексов на базе универсальных языков кодировки;                        | Владение знаниями и умениями, как готовность самостоятельного применения демонстрировать, осуществлять деятельность в различных ситуациях, относящихся к данной компетенции. Обучающийся способен отбирать и интегрировать имеющиеся знания и умения исходя из поставленной цели, проводить самоанализ и самооценку. | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ПК-4 | знать стандартный набор современных высокоточных контрольно-измерительных элементов при проведении теплофизических экспериментов;                                                                                                              | Обучающийся знает теоретический материал, относящийся к данной компетенции. Может его воспроизвести ответить на уточняющие вопросы.                                                                                                                                                                                  | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | уметь организовывать с помощью контрольно-измерительных средств системы регистрации основных теплофизических свойств изучаемых объектов в различных фазовых состояниях;                                                                        | Обучающийся демонстрирует умения (с различной степенью самостоятельности), относящиеся к данной компетенции.                                                                                                                                                                                                         | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | владеть методами планирования и статистического анализа точности измеряемых параметров с использованием набора стандартных математических пакетов предназначенных для получения регрессионных соотношений и проведения дисперсионного анализа. | Владение знаниями и умениями, как готовность самостоятельного применения демонстрировать, осуществлять деятельность в различных ситуациях, относящихся к данной компетенции. Обучающийся способен отбирать и интегрировать имеющиеся знания и умения исходя из поставленной цели, проводить самоанализ и самооценку. | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения по системе:

«зачтено»

«не зачтено»

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                                                                                                                                              | Критерии оценивания | Зачтено               | Не зачтено           |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| ОПК-3       | знать особенности изучаемой теплофизической системы и механизмы явлений переноса;                                                                                                                                                              | Письменный опрос    | Выполнение на 70-100% | Выполнение менее 70% |
|             | уметь синтезировать имитационные модели изучаемых теплофизических явлений процессов и объектов;                                                                                                                                                | Письменный опрос    | Выполнение на 70-100% | Выполнение менее 70% |
|             | владеть информационно-вычислительным инструментарием стандартных математических платформ или принципами разработки собственных предметно-ориентированных программных комплексов на базе универсальных языков кодировки;                        | Письменный опрос    | Выполнение на 70-100% | Выполнение менее 70% |
| ПК-3        | знать стандартный набор современных высокоточных контрольно-измерительных элементов при проведении теплофизических экспериментов;                                                                                                              | Письменный опрос    | Выполнение на 70-100% | Выполнение менее 70% |
|             | уметь организовывать с помощью контрольно-измерительных средств системы регистрации основных теплофизических свойств изучаемых объектов в различных фазовых состояниях;                                                                        | Письменный опрос    | Выполнение на 70-100% | Выполнение менее 70% |
|             | владеть методами планирования и статистического анализа точности измеряемых параметров с использованием набора стандартных математических пакетов предназначенных для получения регрессионных соотношений и проведения дисперсионного анализа. | Письменный опрос    | Выполнение на 70-100% | Выполнение менее 70% |

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

- 1) Этапы применения метода математического моделирования
- 2) Параметры физической модели
- 3) Современный набор математического инструментария
- 4) Построение замкнутых математических объектов для описания принятой физической модели
- 5) Фундаментальные законы явлений переноса. Их математическая

формализация.

- 6) Градиентная форма записи переноса импульса, теплоты и массы.
- 7) Интегро-дифференциальное исчисление, как основа формирования математических представлений теплофизических задач
- 8) Особенности применения параболических и гиперболических типов дифференциальных уравнений в частных производных для описаний явлений переноса
- 9) Виды краевых задач
- 10) Представления уравнения переноса с помощью дифференциальных соотношений в частных производных первого порядка
- 11) Конечно-разностная технология дискретизации начально-краевых задач уравнений математической физики
- 12) Построение явных, неявных и смешанного типа конечно-разностных схем
- 13) Понятие сходимости и устойчивости вычислительных схем.
- 14) Вариационная постановка вычислительных задач в теплофизике.
- 15) Характеристика методов Галеркина, Ритца, Бубнова-Галеркина, коллокаций и их применение для построения приближенных решений
- 16) Структурные принципы языков программирования, основных вычислительных платформ
- 17) Графические и мультимедийные функционалы вычислительных платформ для представления результатов теплофизического вычислительного эксперимента
- 18) Элементы теории планирования вычислительных экспериментов
- 19) Специализированные пакеты регрессионного и дисперсионного анализа.

#### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

Не предусмотрено учебным планом.

#### **7.2.3. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Зачет проводится по билетам, каждый из которых содержит 2 вопроса.

1. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если аспирант набрал более 70% .
2. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если аспирант набрал менее 70% .

#### **7.2.4 Паспорт оценочных материалов**

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства |
|-------|------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1     | Качественный анализ                      | ОПК-3, ПК-4                    | Письменный опрос                 |

|   |                                                                             |             |                  |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|
|   | теплофизической проблемы или задачи, и построение его математической модели |             |                  |
| 2 | Разработка вычислительных алгоритмов                                        | ОПК-3, ПК-4 | Письменный опрос |
| 3 | Создание программы, реализующей вычислительный алгоритм                     | ОПК-3, ПК-4 | Письменный опрос |
| 4 | Наполнение расчетного массива с помощью компьютерных систем                 | ОПК-3, ПК-4 | Письменный опрос |
| 5 | Обработка и анализ данных вычислительного эксперимента                      | ОПК-3, ПК-4 | Письменный опрос |

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Письменный опрос осуществляется с использованием выданных заданий на бумажном носителе. Время 45 мин. Затем осуществляется проверка экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Рязских, В.И. Уравнения математической физики : Учеб. пособие. - Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2010. - 83 с. – 250

2. Бараков, А.В. Моделирование и алгоритмизация задач теплоэнергетики : Учеб. пособие. - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2015. - 198 с.

### **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

| Наименование программного обеспечения | Тип лицензии |
|---------------------------------------|--------------|
| Microsoft Windows 7                   | Open License |
| Microsoft Office 2007                 | Open License |
| Adobe Reader                          | Свободное ПО |



|            |              |
|------------|--------------|
| Maple v.17 | Open License |
|------------|--------------|

#### Профессиональные базы данных

| Наименование ПБД                          | Электронный адрес ресурса                                           |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Научная электронная библиотека            | <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>                 |
| Электронная библиотечная система IPRbooks | <a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a> |

#### Информационные справочные системы

| Наименование ИСС          | Электронный адрес ресурса |
|---------------------------|---------------------------|
| Математический справочник | dict.sernam.ru            |
| Информационная система    | Math-Net.Ru               |

Электронный каталог научной библиотеки:

<https://cchqeu.ru/university/elektronnyy-katalog/>

### **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Специализированное помещение для проведения лекционных занятий, оснащенное доской, учебными столами, стульями и оборудованием для демонстрации наглядного материала.

### **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Вычислительный эксперимент в основных задачах теплофизики» читаются лекции.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Контроль усвоения материала дисциплины производится путем проведения зачета.

| Вид учебных занятий                   | Деятельность студента                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекция                                | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии. |
| Самостоятельная работа                | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:<br>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;<br>- выполнение домашних заданий и расчетов;<br>- работа над темами для самостоятельного изучения;<br>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;<br>- подготовка к промежуточной аттестации.                                                        |
| Подготовка к промежуточной аттестации | Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.                                                                                                                                                                                                                                                                  |