

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Цифровое информационное моделирование инженерных систем зданий и сооружений

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЕКТИРОВАНИИ**

|  |  |
|--|--|
| <b>Блок:</b>                             | Блок 1 «Дисциплины (модули)»                             |
| <b>Часть образовательной программы:</b>  | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>   | Б1.Ч.06  |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b> | 2 семестр - 4;   |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>  | 144 часа   |
| <b>Лекции</b>                            | 2 семестр - 32 часа;                                     |
| <b>Практические занятия</b>              | 2 семестр - 32 часа;                                     |
| <b>Лабораторные работы</b>               | не предусмотрено учебным планом                          |
| <b>Консультации</b>                      | 2 семестр - 2 часа;                                      |
| <b>Самостоятельная работа</b>            | 2 семестр - 77,5 часа;                                   |
| <b>в том числе на КП/КР</b>              | не предусмотрено учебным планом                          |
| <b>Иная контактная работа</b>            | проводится в рамках часов аудиторных занятий             |
| <b>включая:</b>                          |  |
| <b>Расчетное задание</b>                 |  |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>         |  |
| <b>Экзамен</b>                           | 2 семестр - 0,5 часа;                                    |

**Москва 2026**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

---

|   |  |                             |
|---|--|-----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                             |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                             |
|   | Владелец   | Пурдин М.С.                 |
|   | Идентификатор                                      | R73e8cc57-PurdinMS-97ce3ae5 |

М.С. Пурдин

---

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

---

|   |  |                                |
|---|--|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|   | Владелец   | Маскинская А.Ю.                |
|   | Идентификатор                                      | R4ac5cf7e-MaskinskyaAY-056d228 |

А.Ю.  
Маскинская

---

Заведующий выпускающей  
кафедрой

---

|   |  |                                 |
|---|--|---------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                 |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                 |
|   | Владелец   | Щербатов И.А.                   |
|   | Идентификатор                                      | R6b2590a8-ShcherbatovIA-d91ec17 |

И.А. Щербатов

---

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение пакетов прикладных программ и их применение для математического моделирования систем вентиляции, отопления и кондиционирования.

### Задачи дисциплины

- Способен разрабатывать математические модели, с использованием современных программных средств.;
- Способен использовать и сопровождать разработанные математические модели процессов тепло и массообмена для систем вентиляции, отопления и кондиционирования;
- Способен определять область применения результатов научно-исследовательских работ.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции   | Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Запланированные результаты обучения   |
|--|---|---|
| ПК-1 Способен разрабатывать проектную и рабочую документацию инженерных систем объектов капитального строительства в соответствии с техническим заданием, с использованием современных программных средств, действующими нормативно-техническими документами, создавать, использовать и сопровождать информационные модели объектов капитального строительства и их инженерных сетей на всех этапах их жизненного цикла, а также координировать действия соисполнителей и определять область применения результатов научно-исследовательских работ | ИД-1ПК-1 Разрабатывает проектную и рабочую документацию инженерных систем объектов капитального строительства в соответствии с техническим заданием, с использованием современных программных средств, действующими нормативно-техническими документами и стандартами и бизнес-процессами организации | знать:<br>- Принципы работы современных компьютерных кодов для моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в инженерных системах;<br>- Методы решения дискретных уравнений с использованием итерационных алгоритмов.<br><br>уметь:<br>- Проводить расчеты и обрабатывать их результаты;<br>- Выбирать алгоритм и способы работы в программных средствах моделирования движения воздуха для проектирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Цифровое информационное моделирование инженерных систем зданий и сооружений (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Разделы информатики: программирование, основы вычислительной техники и теоретической информатики; теоретические основы теплотехники; высшую математику.
- уметь Программировать и работать с компьютером

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации   | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   | Содержание самостоятельной работы/ методические указания  |
|-------|--|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|---|
|       |  |                       |         | Контактная работа  |     |    |              |   |     |    | СР |                   |                                   |   |
|       |  |                       |         | Лек  | Лаб | Пр | Консультация |   | ИКР |    | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль |   |
| КПР   | ГК   | ИККП                  | ТК      |  |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   |   |
| 1     | 2  | 3                     | 4       | 5  | 6   | 7  | 8            | 9 | 10  | 11 | 12 | 13                | 14                                | 15  |
| 1     | Введение в численные методы решения теплотехнических задач. Обобщенная форма записи уравнений. Виды уравнений. | 12                    | 2       | 4  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 4                 | -                                 | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по учебникам. 1.Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики // М.: Изд-во МГУ, 1999. 799 с. 2. Патанкар, С. В. Численные методы решение задач теплообмена и динамики жидкости : пер. с англ. / С. В. Патанкар. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 150 с. 3. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика : пер. с англ. / П. Роуч. – М. : Мир, 1980. – 616 с.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[3], 8-12</p> |
| 1.1   | Введение в численные методы решения теплотехнических задач.  | 6                     |         | 2  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 2                 | -                                 |   |
| 1.2   | Виды пакетов вычислительной гидродинамики  | 6                     |         | 2  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 2                 | -                                 |   |
| 2     | Уравнения вычислительной гидродинамики в дифференциальной форме  | 12                    |         | 4  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 4                 | -                                 |   |
| 2.1   | Частные случаи теплообмена в теплотехническом оборудовании   | 6                     |         | 2  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 2                 | -                                 |   |
| 2.2   | Составляющие уравнений вычислительной гидродинамики  | 6                     |         | 2  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 2                 | -                                 |   |

|     |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                                    |  |
|-----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------------------------------------|--|
|     |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | <u>источников:</u><br>[2], 470-489 |  |
| 3   | Обобщенный вид уравнений и сеточные методы  | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | - | 6 | -                                  | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по учебникам.   |
| 3.1 | Сведение уравнений движения, энергии и диффузии к общему виду                                 | 6  | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 2 | -                                  | 1.Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики // М.: Изд-во МГУ, 1999. 799 с. 2. Патанкар, С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости : пер. с англ. / С. В. Патанкар. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 150 с. 3. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика : пер. с англ. / П. Роуч. – М. : Мир, 1980. – 616 с. |
| 3.2 | Сеточные методы решения дифференциальных уравнений  | 8  | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 4 | -                                  | <u>Изучение материалов литературных источников:</u><br>[3], 13-23  |
| 4   | Схемы аппроксимации дифференциальных членов и уравнений. Достоверность получаемых результатов | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | - | 6 | -                                  | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по учебникам.   |
| 4.1 | Схемы аппроксимации дифференциальных членов и уравнений                                       | 8  | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 4 | -                                  | 1.Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики // М.: Изд-во МГУ, 1999. 799 с. 2. Патанкар, С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости : пер. с англ. / С. В. Патанкар. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 150 с. 3. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика : пер. с англ. / П. Роуч. – М. : Мир, 1980. – 616 с. |
| 4.2 | Достоверность получаемых результатов  | 6  | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 2 | -                                  | <u>Изучение материалов литературных источников:</u><br>[1], 585-687<br>[3], 120-132<br>[6], 585-687  |
| 5   | Работа с пакетом численного моделирования   | 8  | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 4 | -                                  | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по учебникам. 1.  |
| 5.1 | Расчетная область и граничные условия в   | 8  | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 4 | -                                  | Нурiev А.Н., Зайцева О.Н., Камалутдинов А.М., Жучкова О.С. Введение в  |

|     |  |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |
|-----|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|
|     | пакете для численного моделирования                              |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   | компьютерное моделирование гидродинамических процессов в программном комплексе OpenFOAM: учебное пособие // Казань: Издательство Казанского университета, 2022. 84 с. 2. Мусин А.А., Валиуллина В.И., Минаева, М.И. Моделирование в программном пакете OpenFOAM // Практикум, Издательство: "БашГУ", Уфа, 2020 - (28 с.). <a href="https://e.lanbook.com/book/179925">https://e.lanbook.com/book/179925</a> .<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[7], 2-25  |
| 6   | Метод контрольных объемов  | 12 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 4  | - | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по учебникам. 1. Патанкар, С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости : пер. с англ. / С. В. Патанкар. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 150 с. 2. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика : пер. с англ. / П. Роуч. – М. : Мир, 1980. – 616 с.<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[2], 424-442   |
| 6.1 | Метод контрольных объемов  | 6  | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | 2  | - |   |
| 6.2 | Алгоритмы расчета течения  | 6  | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | 2  | - |   |
| 7   | Модели турбулентности  | 22 | 6 | - | 6 | - | - | - | - | - | 10 | - | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по учебникам. 1. Патанкар, С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости : пер. с англ. / С. В. Патанкар. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 150 с. 2. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика : пер. с англ. / П. Роуч. – М. : Мир, 1980. – 616 с. 3. Валуева Е.П., Свиридов В.Г. Введение в механику жидкости // М.: Издательский дом МЭИ, 2022, 227 с.<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> |
| 7.1 | Классификация и базовые модели                                   | 6  | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | 2  | - |   |
| 7.2 | Модели турбулентности для численного моделирования               | 8  | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | 4  | - |   |
| 7.3 | Встроенные модели турбулентности пакета численного моделирования | 8  | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | 4  | - |   |

|     |  |       |    |   |    |   |   |   |   |     |    |      |      |   |
|-----|--|-------|----|---|----|---|---|---|---|-----|----|------|------|---|
|     |  |       |    |   |    |   |   |   |   |     |    |      |      | [3], 133-144<br>[4], 192-210<br>[5], 192-210  |
| 8   | Учет теплофизических свойств и поля массовых сил | 14    | 4  | - | 4  | - | - | - | - | -   | -  | 6    | -    | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по учебникам. 1. Патанкар, С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости : пер. с англ. / С. В. Патанкар. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 150 с.<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[3], п.2.2-2.3 |
| 8.1 | Постоянные и переменные свойства среды           | 8     | 2  | - | 2  | - | - | - | - | -   | 4  | -    |      |   |
| 8.2 | Учет поля массовых сил                           | 6     | 2  | - | 2  | - | - | - | - | -   | 2  | -    |      |   |
|     | Экзамен  | 36.0  | -  | - | -  | - | 2 | - | - | 0.5 | -  | -    | 33.5 |   |
|     | Всего за семестр                                 | 144.0 | 32 | - | 32 | - | 2 | - | - | 0.5 | 44 | 33.5 |      |   |
|     | Итого за семестр                                 | 144.0 | 32 | - | 32 |   | 2 |   | - | 0.5 |    | 77.5 |      |   |

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Введение в численные методы решения теплотехнических задач. Обобщенная форма записи уравнений. Виды уравнений.

##### 1.1. Введение в численные методы решения теплотехнических задач.

Краткая история развития теплотехники. Вычислительная гидродинамика. Примеры применения CFD. Инженерная вычислительная гидродинамика..

##### 1.2. Виды пакетов вычислительной гидродинамики

Перечень современных пакетов CFD моделирования. Порядок установки пакета. Основное содержимое пакета. Структура пользовательских каталогов..

#### 2. Уравнения вычислительной гидродинамики в дифференциальной форме

##### 2.1. Частные случаи теплообмена в теплотехническом оборудовании

Рассматриваются задачи: - теплообмена вблизи изотермической поверхности, - охлаждаемого ребра, - развитого ламинарного течения в канале..

##### 2.2. Составляющие уравнений вычислительной гидродинамики

Инерционные члены и неинерционные члены. Уравнения движения, неразрывности, энергии и диффузии..

#### 3. Обобщенный вид уравнений и сеточные методы

##### 3.1. Сведение уравнений движения, энергии и диффузии к общему виду

Формулы удельных потоков, входящих в уравнения. Получение обобщенной формы уравнения переноса в консервативной форме. Частные случаи уравнений теплопроводности в параболическом и гиперболическом видах, уравнение конвекции..

##### 3.2. Сеточные методы решения дифференциальных уравнений

Методы балансов, конечных разностей, конечных элементов. Виды расчетных сеток. Сгущение сеток..

#### 4. Схемы аппроксимации дифференциальных членов и уравнений. Достоверность получаемых результатов

##### 4.1. Схемы аппроксимации дифференциальных членов и уравнений

Особенности аппроксимация нестационарного и конвективных членов дифференциального уравнения. Аппроксимация нестационарного уравнения теплопроводности. Аппроксимация стационарного уравнения теплопроводности (задача Дирихле). Аппроксимация нестационарного конвективного уравнения. Аппроксимация граничных условий. Критерий устойчивости Куранта-Фридригса-Леви. Схемы, устойчивость, порядок точности..

##### 4.2. Достоверность получаемых результатов

Сходимость, монотонность, релаксация, устойчивость. Погрешность решения. Вопросы достоверности численного моделирования. Способы контроля качества получаемых результатов..

#### 5. Работа с пакетом численного моделирования

5.1. Расчетная область и граничные условия в пакете для численного моделирования  
Алгоритм построения РО. Основные объекты для построения РО. Описание граничных условий в файле проекта. Граничные условия по умолчанию. Просмотр и анализ результатов в постпроцессоре. Расчет полей переменных..

### 6. Метод контрольных объемов

#### 6.1. Метод контрольных объемов

Назначение МКО. Шахматная сетка. Расчет поля давления..

#### 6.2. Алгоритмы расчета течения

Алгоритм SIMPLE. Граничные условия для давления. Алгоритмы SIMPLER, PISO, PIMPLE и другие..

### 7. Модели турбулентности

#### 7.1. Классификация и базовые модели

Обзор. Модели напряжений Рейнольдса. Метод крупных вихрей. Прямое численное моделирование. Модель турбулентности Буссинеска. Теория пути перемешивания Прандтля..

#### 7.2. Модели турбулентности для численного моделирования

Модели турбулентности Спаларта-Аллмараса, k-ε, k-ω, SST, метод крупных вихрей(LES), прямое численное моделирование турбулентности..

#### 7.3. Встроенные модели турбулентности пакета численного моделирования

Перечень моделей. Способы включения. Виды граничных условий..

### 8. Учет теплофизических свойств и поля массовых сил

#### 8.1. Постоянные и переменные свойства среды

Термофизическая модель, модели смеси, термодинамики, уравнений состояния, молекулярная, переносимой энергии..

#### 8.2. Учет поля массовых сил

Необходимые изменения для учета поля массовых сил.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. 6. Решение задачи о теплообмене в охлаждаемом ребре;
2. 5. Решение задачи о теплообмене вблизи изотермической поверхности;
3. 4. Достоверность получаемых результатов;
4. 9. Выполнение расчетного задания и представление преподавателю;
5. 1. Введение в численные методы решения теплотехнических задач;
6. 8. Построение расчетной области в пакете OpenFOAM и демонстрация результата преподавателю;
7. 7. Анализ результатов расчетов. Обработка результатов в виде графиков, таблиц, полей искомых переменных постпроцессором;
8. 3. Схемы аппроксимации дифференциальных членов и уравнений;
9. 2. Частные случаи теплообмена в теплотехническом оборудовании.

**3.4. Темы лабораторных работ**  
не предусмотрено

**3.5 Консультации**

**3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**  
Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине<br>(в соответствии с разделом 1)  | Коды<br>индикаторов | Номер раздела дисциплины (в<br>соответствии с п.3.1) |   |   |   |   |   |   |   | Оценочное средство<br>(тип и<br>наименование) |                        |
|---|---------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|------------------------|
|   |                     | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |   |                        |
| <b>Знать:</b>   |                     |  |   |   |   |   |   |   |   |   |                        |
| Методы решения дискретных уравнений с использованием итерационных алгоритмов  | ИД-1ПК-1            | +  | + | + | + |   |   |   |   |   | Расчетное задание/КМ-1 |
| Принципы работы современных компьютерных кодов для моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в инженерных системах  | ИД-1ПК-1            |  |   |   | + | + | + |   |   |   | Расчетное задание/КМ-2 |
| <b>Уметь:</b>   |                     |  |   |   |   |   |   |   |   |   |                        |
| Выбирать алгоритм и способы работы в программных средствах моделирования движения воздуха для проектирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха | ИД-1ПК-1            |  |   |   |   |   |   |   | + | +   | Расчетное задание/КМ-3 |
| Проводить расчеты и обрабатывать их результаты  | ИД-1ПК-1            |  |   |   |   | + |   | + | + |   | Расчетное задание/КМ-4 |

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**2 семестр**

Форма реализации: Выполнение задания

1. КМ-1 (Расчетное задание)
2. КМ-2 (Расчетное задание)
3. КМ-3 (Расчетное задание)
4. КМ-4 (Расчетное задание)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Экзамен (Семестр №2)*

Оценка за семестр определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих. В приложение к диплому выносятся оценка за семестр.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики : учебник для физико-математических специальностей университетов / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский, Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова (МГУ). – 7-е изд. – М. : Изд-во МГУ : Наука, 2004. – 798 с. – (Классический университетский учебник). – ISBN 5-211-04843-1.;
2. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика : пер. с англ. / П. Роуч. – М. : Мир, 1980. – 616 с.;
3. Патанкар, С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости : пер. с англ. / С. В. Патанкар. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 150 с.;
4. Валуева, Е. П. Введение в механику жидкости : учебное пособие для вузов по направлениям "Техническая физика", "Теплоэнергетика" / Е. П. Валуева, В. Г. Свиридов. – 2-е изд., перераб. – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 212 с. – ISBN 978-5-383-00109-7.;
5. Валуева Е.П., Свиридов В.Г.- "Введение в механику жидкости", Издательство: "МЭИ", Москва, 2020  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014301.html>;
6. А. Н. Тихонов, А. А. Самарский- "Уравнения математической физики", (Изд. 5-е, стереотип.), Издательство: "Наука", Москва, 1977 - (734 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468275>;
7. "Моделирование в программном пакете openfoam. Практикум", Издательство: "БашГУ", Уфа, 2020 - (28 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/179925>.

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

## 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
12. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <http://proinfosoft.ru/>  
<http://docs.cntd.ru/>
14. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
15. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
16. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
17. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
18. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
19. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>
20. Информиио - <https://www.informio.ru/>
21. АНО «Россия – страна возможностей» - <https://rsv.ru/education/>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения   | Номер аудитории, наименование          | Оснащение   |
|---|--|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | Г-408, Учебная аудитория               | парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная                 |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | В-104-3, Учебная аудитория каф. "ТМПУ" | парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор |
| Учебные аудитории для   | Г-407, Учебная                         | парта, стол преподавателя, стул, доска  |

|  |  |  |
|--|--|--|
| проведения промежуточной аттестации                      | аудитория                              | меловая  |
| Помещения для самостоятельной работы                     | НТБ-303, Лекционная аудитория          | стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер |
| Помещения для консультирования                           | В-104-5, Преподавательская каф. "ТМПУ" | стол, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, документы, журналы, книги, учебники, пособия      |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | В-02, Архив                            | стеллаж для хранения книг, стол для работы с документами, стул   |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### CFD-моделирование в проектировании

(название дисциплины)

#### 2 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1 КМ-1 (Расчетное задание)

КМ-2 КМ-2 (Расчетное задание)

КМ-3 КМ-3 (Расчетное задание)

КМ-4 КМ-4 (Расчетное задание)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины  | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 5    | 8    | 12   | 16   |
| 1             | Введение в численные методы решения теплотехнических задач. Обобщенная форма записи уравнений. Виды уравнений. |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Введение в численные методы решения теплотехнических задач.  |            | +    |      |      |      |
| 1.2           | Виды пакетов вычислительной гидродинамики  |            | +    |      |      |      |
| 2             | Уравнения вычислительной гидродинамики в дифференциальной форме  |            |      |      |      |      |
| 2.1           | Частные случаи теплообмена в теплотехническом оборудовании   |            | +    |      |      |      |
| 2.2           | Составляющие уравнений вычислительной гидродинамики  |            | +    |      |      |      |
| 3             | Обобщенный вид уравнений и сеточные методы   |            |      |      |      |      |
| 3.1           | Сведение уравнений движения, энергии и диффузии к общему виду  |            | +    |      |      |      |
| 3.2           | Сеточные методы решения дифференциальных уравнений   |            | +    |      |      |      |
| 4             | Схемы аппроксимации дифференциальных членов и уравнений. Достоверность получаемых результатов                  |            |      |      |      |      |
| 4.1           | Схемы аппроксимации дифференциальных членов и уравнений  |            | +    |      |      |      |
| 4.2           | Достоверность получаемых результатов   |            |      | +    |      |      |
| 5             | Работа с пакетом численного моделирования  |            |      |      |      |      |
| 5.1           | Расчетная область и граничные условия в пакете для численного моделирования                                    |            |      | +    |      | +    |

|            |  |    |    |    |    |
|------------|--|----|----|----|----|
| 6          | Метод контрольных объемов  |    |    |    |    |
| 6.1        | Метод контрольных объемов  |    | +  |    |    |
| 6.2        | Алгоритмы расчета течения  |    | +  |    |    |
| 7          | Модели турбулентности  |    |    |    |    |
| 7.1        | Классификация и базовые модели                                   |    |    | +  |    |
| 7.2        | Модели турбулентности для численного моделирования               |    |    | +  |    |
| 7.3        | Встроенные модели турбулентности пакета численного моделирования |    |    |    | +  |
| 8          | Учет теплофизических свойств и поля массовых сил                 |    |    |    |    |
| 8.1        | Постоянные и переменные свойства среды                           |    |    |    | +  |
| 8.2        | Учет поля массовых сил   |    |    | +  |    |
| Вес КМ, %: |  | 20 | 20 | 30 | 30 |