

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: ЭТАЛОН: Теплоэнергетика и теплотехника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.01.03</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>8 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>8 семестр - 28 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>8 семестр - 79,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Тестирование</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>8 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2018**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Харламова Д.М.
	Идентификатор	R79aa51b6-RostovaDM-3fbc1e6

(подпись)

Д.М. Харламова

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение методов численного моделирования физических процессов, протекающих в энергетических установках различного назначения, и освоение программных продуктов, предназначенных для моделирования физических процессов

### Задачи дисциплины

- ознакомление с базовыми принципами и подходами к моделированию физических процессов;
- изучение областей применения методов численного моделирования в процессе проектирования энергетических установок;
- ознакомление с принципами разработки и/или модификации твердотельных моделей для проведения моделирования и принципами построения сеточных моделей для решения различных типов задач энергетического машиностроения;
- освоение программных комплексов, применяемых для моделирования физических процессов, протекающих в энергетических установках.

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 участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере теплоэнергетики и теплотехники	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет моделирование физических и механических процессов в энергетическом оборудовании с применением систем автоматизированного проектирования	знать: - методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов горения, протекающих в энергетических установках; - методы численного моделирования процессов горения, протекающих в энергетических установках.  уметь: - применять методы численного моделирования процессов горения при проектировании энергетических установок; - использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов горения в энергетических установках.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе ЭТАЛОН: Теплоэнергетика и теплотехника (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ 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	Теоретические основы моделирования процессов горения в энергетических установках	24	8	-	-	6	-	-	-	-	-	18	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Теоретические основы моделирования процессов горения в энергетических установках"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Теоретические основы моделирования процессов горения в энергетических установках" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Теоретические основы моделирования процессов горения в энергетических установках"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 135-177</p>
1.1	Основные характеристики процессов горения в элементах энергетического оборудования	12		-	-	4	-	-	-	-	-	8	-	
1.2	Основы теории горения	12		-	-	2	-	-	-	-	-	10	-	
2	Численное моделирование процессов горения в энергетических установках	66		-	-	22	-	-	-	-	-	44	-	
2.1	Моделирования процессов горения как составная часть	24		-	-	8	-	-	-	-	-	16	-	

	проектирования															выполнению заданий на практических занятиях
2.2	Основы математического моделирования процессов горения	20	-	-	6	-	-	-	-	-	-	14	-			<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Численное моделирование процессов горения в энергетических установках"
2.3	Основные этапы компьютерного моделирование процессов горения	22	-	-	8	-	-	-	-	-	-	14	-			<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 71-87, 171-218
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	17.7			
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>	-	-	<b>28</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	-	<b>62</b>	<b>17.7</b>			
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	-	-	<b>28</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	-	<b>79.7</b>				

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Теоретические основы моделирования процессов горения в энергетических установках

1.1. Основные характеристики процессов горения в элементах энергетического оборудования

Роль горения в технике. Организация рабочего процесса камер сгорания. Топлива для газотурбинных установок и их основные характеристики.

1.2. Основы теории горения

Принципы составления материального и теплового баланса процессов горения. Классификация пламен. Реакционные механизмы и принципы их упрощения. Основы химического равновесия процессов горения. Скорость химической реакции, формула Аррениуса. Скорость распространения пламени.

#### 2. Численное моделирование процессов горения в энергетических установках

2.1. Моделирование процессов горения как составная часть проектирования

Условия проведения виртуального эксперимента по исследованию процессов горения. Настройка решателя для проведения численного моделирования горения. Величины, определяемые в результате численного моделирования горения.

2.2. Основы математического моделирования процессов горения

Основные типы моделей горения. Одноступенчатые, двухступенчатые и многоступенчатые реакционные механизмы. Модели образования вредных веществ. Принципы реакторного подхода к моделированию горения.

2.3. Основные этапы компьютерного моделирования процессов горения

Постановка задачи и выбор объекта моделирования. Постановка внутренних и граничных условий. Обработка и анализ результатов моделирования.

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

1. Численное моделирование гомогенного горения в жаровой трубе с применением многостадийного реакционного механизма;
2. Определение адиабатической температуры горения. Позонный тепловой расчет камеры сгорания;
3. Численное моделирование гомогенного горения в жаровой трубе с применением одностадийного реакционного механизма;
4. Численное моделирование работы завихрительного устройства и процесса смешения топлива и окислителя;
5. Применение численного моделирования для расчета основных параметров химической кинетики: адиабатической температуры горения;
6. Применение численного моделирования для расчета основных параметров химической кинетики: нормальной скорости распространения пламени, времени задержки зажигания;
7. Реакторное моделирование камеры сгорания. Оценка эмиссионных характеристик;
8. Численное моделирование гомогенного горения в жаровой трубе с применением многостадийного реакционного механизма.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теоретические основы моделирования процессов горения в энергетических установках"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Численное моделирование процессов горения в энергетических установках"

### **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 (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)		Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	
<b>Знать:</b>				
методы численного моделирования процессов горения, протекающих в энергетических установках	ИД-1ПК-1	+		Тестирование/КМ-1
методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов горения, протекающих в энергетических установках	ИД-1ПК-1	+	+	Тестирование/КМ-3
<b>Уметь:</b>				
использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов горения в энергетических установках	ИД-1ПК-1		+	Контрольная работа/КМ-2
применять методы численного моделирования процессов горения при проектировании энергетических установок	ИД-1ПК-1		+	Контрольная работа/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**

**8 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-1 (Тестирование)
2. КМ-2 (Контрольная работа)
3. КМ-3 (Тестирование)
4. КМ-4 (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №8)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании зачетной составляющей

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

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

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

1. Кулагин В. В., Кузьмичев В. С.- "Основы теории ГТД. Рабочий процесс и термогазодинамический анализ" К. 1, (5-е изд., испр.), Издательство: "Машиностроение", Москва, 2020 - (336 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/151080>;
2. Горение и течение в агрегатах энергоустановок: Моделирование, энергетика, экология / В. Г. Крюков, и др. ; Ред. В. Е. Алемасов . – М. : Янус, 1997 . – 304 с. - ISBN 5-88929-015-5 ..

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office;
2. Windows;
3. Ansys;
4. Майнд Видеоконференции;
5. SolidWorks.

### **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. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>

8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
12. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
13. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
14. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
15. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
16. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
17. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
18. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;http://docs.cntd.ru/>
19. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
20. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
21. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
22. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
23. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
24. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	3-404/11, Компьютерный класс каф. "ИТНО"	стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	3-407/3, Компьютерный класс каф. "ИТНО"	стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для консультирования	3-309, Аудитория каф. "ИТНО"	стол, стул, шкаф
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	3-318, Помещение для инвентаря каф. "ИТНО"	стеллаж для хранения инвентаря, стол, стул, шкаф

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Математическое моделирование процессов горения

(название дисциплины)

## 8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 КМ-1 (Тестирование)  
 КМ-2 КМ-2 (Контрольная работа)  
 КМ-3 КМ-3 (Тестирование)  
 КМ-4 КМ-4 (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Теоретические основы моделирования процессов горения в энергетических установках					
1.1	Основные характеристики процессов горения в элементах энергетического оборудования		+		+	
1.2	Основы теории горения		+		+	
2	Численное моделирование процессов горения в энергетических установках					
2.1	Моделирования процессов горения как составная часть проектирования			+	+	+
2.2	Основы математического моделирования процессов горения			+	+	+
2.3	Основные этапы компьютерного моделирование процессов горения					+
Вес КМ, %:			10	30	20	40