

**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: Устойчивое развитие в энергетике и промышленности

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная


**Рабочая программа дисциплины**  
**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕПЛО МАССООБМЕНА В РЕАКТОРАХ**  
**ВТУ**

<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.12.01.02
<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>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>Самостоятельная работа</b>	2 семестр - 79,7 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>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	2 семестр - 0,3 часа;

**Москва 2024**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Строгонов К.В.
	Идентификатор	Ra748820-StrogonovKV-3f34a28f

К.В. Строгонов


**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Злышко О.В.
	Идентификатор	Ra785d4c7-ZlyvkoOV-49c1f249

О.В. Злышко

Заведующий выпускающей  
кафедрой

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

А.Н. Рогалев

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Подготовить специалистов, способных на высоком профессиональном уровне анализировать работу действующих высокотемпературных теплотехнологических реакторов (ВТР), совершенствовать их работу и создавать реакторы нового поколения

### Задачи дисциплины

- Описать физические модели теплотехнических процессов протекающих в ВТР при использовании различных теплотехнических принципов;
- Дать алгоритмы решения специальных задач;
- Научить находить оптимальные решения поставленных задач;
- Ознакомить с принципами комбинирования отдельных принципов для создания высокопроизводительных реакторов нового поколения.

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-2 Способен осуществлять разработку, модернизацию объектов теплоэнергетики и теплотехники, в том числе с учетом критериев концепции устойчивого развития	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Выполняет разработку конструкторских и технологических решений объектов теплоэнергетики и теплотехники	знать: - справочники наилучших доступных технологий; - последовательность действий по оптимизации теплообмена в высокотемпературных реакторах; - теплотехнические принципы и источники литературы, описывающие методики оценок.  уметь: - определять потенциал энергосбережения в теплотехнологии и экономически эффективные границы реализации энергосберегающих мероприятий в конкретных ценовых условиях; - осуществлять подбор наилучших технологий; - выполнять расчёты по теплообмену.
ПК-2 Способен осуществлять разработку, модернизацию объектов теплоэнергетики и теплотехники, в том числе с учетом критериев концепции устойчивого развития	ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению в энергетике и промышленности	знать: - терминологию в области энергосбережения и границы эффективности мероприятий по энергосбережению в конкретных экономических условиях производства.  уметь: - давать оценку эффективности использования теплотехнических принципов в действующих.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО**

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Устойчивое развитие в энергетике и промышленности (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Основы теплопередачи
- уметь считать передачу теплоты излучением, конвекцией, теплопроводностью

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	Лучистый теплообмен в ВТУ	40	2	10	-	10	-	-	-	-	-	20	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Лучистый теплообмен в ВТУ и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Лучистый теплообмен в ВТУ"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 65-82; 297-350 [3], 34-76; 53-76; 134-145 [5], 23-31</p>		
1.1	Особенности лучистого теплообмена в высокотемпературных реакторах	22		6	-	6	-	-	-	-	-	-	10		-	
1.2	Уравнение баланса тепловой энергии элементарного объема излучающего газа	18		4	-	4	-	-	-	-	-	-	10		-	
2	Конвективный теплообмен в ВТУ	40		10	-	10	-	-	-	-	-	-	20		-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Конвективный теплообмен в ВТУ и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Конвективный теплообмен в ВТУ"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 142-143; 149-155 [4], 36-42</p>
2.1	Тепломассообмен в реакторах скоростной обработки измельченных материалов	20		6	-	4	-	-	-	-	-	-	10		-	
2.2	Движение и передача теплоты к частицам в закрученном потоке газов	20		4	-	6	-	-	-	-	-	-	10		-	
3	Теплообмен при грануляции расплавов	24		6	-	6	-	-	-	-	-	-	12		-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Теплообмен при грануляции расплавов и</p>
3.1	Грануляция расплавов	24	6	-	6	-	-	-	-	-	-	12	-			

	в воде и других жидких средах												подготовка к контрольной работе <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Теплообмен при грануляции расплавов" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 301-305; 306-311 [2], 87-102 [3], 86-95
4	Высокопроизводительные реакторы	22	6	-	6	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Высокопроизводительные реакторы и подготовка к контрольной работе <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Высокопроизводительные реакторы" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 296-301 [3], 157-165
4.1	Теоретические и экспериментальные исследование различных тепло - и массообменных процессов в скоростных реакторах ВТУ	22	6	-	6	-	-	-	-	-	10	-	
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	144.0	32	-	32	-	-	-	-	0.3	62	17.7	
	Итого за семестр	144.0	32	-	32	-	-	-	-	0.3	79.7		

**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. Лучистый теплообмен в ВТУ

##### 1.1. Особенности лучистого теплообмена в высокотемпературных реакторах

Методы решения задач лучистого теплообмена и их анализ применительно к высокотемпературным реакторам. Лучистый теплообмен в замкнутой системе из нескольких тел, произвольно расположенных в пространстве, в реакторах с поверхностным излучателем и с излучающим факелом.

##### 1.2. Уравнение баланса тепловой энергии элементарного объема излучающего газа

Уравнение баланса тепловой энергии элементарного объема излучающего газа и зональные методы расчета теплового излучения в реакторах ВТУ.

#### 2. Конвективный теплообмен в ВТУ

##### 2.1. Теплообмен в реакторах скоростной обработки измельченных материалов

Качественная картина движения газов в прямоточно-вихревых и циклонных камерах при различных вариантах подачи и вывода потоков газа. Грануляция капель расплава во взвешенном слое.

##### 2.2. Движение и передача теплоты к частицам в закрученном потоке газов

Стадии получения расплавов в скоростных реакторах. Взаимодействие твердых частиц с расплавами.

#### 3. Теплообмен при грануляции расплавов

##### 3.1. Грануляция расплавов в воде и других жидких средах

Грануляция расплавов в воде и других жидких средах. Конвейерная грануляция с сохранением высокого теплосодержания гранул.

#### 4. Высокпроизводительные реакторы

4.1. Теоретические и экспериментальные исследования различных тепло- и массообменных процессов в скоростных реакторах ВТУ

Обзор исследовательских работ кафедры ЭВТ по плавкам различных сырьевых материалов, сжиганию топлив и промышленных отходов, проведению восстановительных и окислительных процессов. Получению продуктов различного назначения.

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

1. Поглощательная способность сажистых сред. Уравнение баланса тепловой энергии элементарного объема излучающего газа. Лучистый теплообмен между твердыми телами в реакторах с плотным, кипящим и взвешенным слоями материала;
2. Движение и передача теплоты к частицам в закрученном потоке газов. Вращение частиц в циклонной камере и влияние его на процесс тепловой обработки;
3. Теплообмен в реакторах скоростной обработки измельченных материалов. Аэродинамическое сопротивление камер;
4. Особенности лучистого теплообмена в высокотемпературных реакторах;
5. Теоретические и экспериментальные исследования различных тепло- и массообменных процессов в скоростных реакторах ВТУ;
6. Теплообмен при грануляции расплавов. Грануляция расплавов в воде и других

жидких средах. Математическая модель грануляции в газовом потоке. Конвейерная грануляция с сохранением высокого теплосодержания гранул. Валковые кристаллизаторы.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

*Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Лучистый теплообмен в ВТУ"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Конвективный теплообмен в ВТУ"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплообмен при грануляции расплавов"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Высокопроизводительные реакторы"

### **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	3	4	
<b>Знать:</b>						
теплотехнические принципы и источники литературы, описывающие методики оценок	ИД-1ПК-2			+		Контрольная работа/Теплопроводность и фазовый переход
последовательность действий по оптимизации теплообмена в высокотемпературных реакторах	ИД-1ПК-2		+			Контрольная работа/Теплопроводность и фазовый переход
справочники наилучших доступных технологий	ИД-1ПК-2	+	+			Контрольная работа/Высокопроизводительные реакторы
терминологию в области энергосбережения и границы эффективности мероприятий по энергосбережению в конкретных экономических условиях производства	ИД-2ПК-2			+		Контрольная работа/Высокопроизводительные реакторы
<b>Уметь:</b>						
выполнять расчёты по теплообмену	ИД-1ПК-2		+			Контрольная работа/Конвективный теплообмен в ВТУ
осуществлять подбор наилучших технологий	ИД-1ПК-2				+	Контрольная работа/Теплопроводность и фазовый переход
определять потенциал энергосбережения в теплотехнологии и экономически эффективные границы реализации энергосберегающих мероприятий в конкретных ценовых условиях	ИД-1ПК-2	+				Контрольная работа/Высокопроизводительные реакторы
давать оценку эффективности использования теплотехнических принципов в действующих	ИД-2ПК-2	+				Контрольная работа/Лучистый теплообмен в ВТУ

## **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: Письменная работа

1. Высокопроизводительные реакторы (Контрольная работа)
2. Конвективный теплообмен в ВТУ (Контрольная работа)
3. Лучистый теплообмен в ВТУ (Контрольная работа)
4. Теплопроводность и фазовый переход (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №2)*

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. Ключников, А. Д. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах : учебное пособие для теплоэнергетических и теплотехнических специальностей вузов / А. Д. Ключников, В. Н. Кузьмин, С. К. Попов . – М. : Энергоатомиздат, 1990 . – 175 с. - ISBN 5-283-00142-3 .;
2. Ключников, А. Д. Теплотехническая оптимизация топливных печей / А. Д. Ключников . – М. : Энергия, 1974 . – 343 с.;
3. Теплоэнергетика и теплотехника: Кн.4. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника : справочник / А. М. Бакластов, и др. ; Общ. ред. В. А. Григорьев, В. М. Зорин . – 2-е изд., перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1991 . – 588 с.;
4. Методические указания по НИИР и дипломному проектированию по специальности "Промышленная теплоэнергетика". Расчет нагрева полидисперсных материалов в потоке газа / А. Д. Ключников, В. Н. Кузьмин, С. Н. Шапкарин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ) ; ред. И. П. Морозов . – М. : МЭИ, 1981 . – 35 с.;
5. Клименко А.В.- "Теплоэнергетика и теплотехника Кн. 2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент.", Издательство: "МЭИ", Москва, 2017 <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011690.html>.

### **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. Антиплагиат ВУЗ.

### 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/>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ш-206, Лекционная аудитория	
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ш-205, Компьютерный класс	
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ш-205, Компьютерный класс	
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Ш-206, Лекционная аудитория	
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ш-107, Архив	

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ****Специальные вопросы тепло массообмена в реакторах ВТУ**

(название дисциплины)

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

- КМ-1 Лучистый теплообмен в ВТУ (Контрольная работа)  
 КМ-2 Конвективный теплообмен в ВТУ (Контрольная работа)  
 КМ-3 Теплопроводность и фазовый переход (Контрольная работа)  
 КМ-4 Высокопроизводительные реакторы (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	Лучистый теплообмен в ВТУ					
1.1	Особенности лучистого теплообмена в высокотемпературных реакторах		+			+
1.2	Уравнение баланса тепловой энергии элементарного объема излучающего газа					+
2	Конвективный теплообмен в ВТУ					
2.1	Тепломассообмен в реакторах скоростной обработки измельченных материалов			+	+	
2.2	Движение и передача теплоты к частицам в закрученном потоке газов					+
3	Теплообмен при грануляции расплавов					
3.1	Грануляция расплавов в воде и других жидких средах				+	+
4	Высокопроизводительные реакторы					
4.1	Теоретические и экспериментальные исследование различных тепло - и массообменных процессов в скоростных реакторах ВТУ				+	
Вес КМ, %:			25	25	25	25