

**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: Энергообеспечение предприятий. Высокотемпературные процессы и установки

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В 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.06
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	1 семестр - 5;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	180 часов
<b>Лекции</b>	1 семестр - 16 часов;
<b>Практические занятия</b>	1 семестр - 32 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	1 семестр - 32 часа;
<b>Консультации</b>	1 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	1 семестр - 97,5 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> Контрольная работа Лабораторная работа Тестирование	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	1 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2022**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Осипов С.К.
	Идентификатор	R06dc7f87-OsipovSK-e84c9a91

(подпись)

С.К. Осипов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Писарев Д.С.
	Идентификатор	Radb74374-PisarevDS-0915d1cb

(подпись)

Д.С. Писарев

(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 планирования, проведения и обработки данных экспериментальных исследований гидрогазодинамических процессов в элементах сложного наукоемкого оборудования

### Задачи дисциплины

- изучение основ проведения экспериментальных исследований гидрогазодинамических процессов;
- изучение методов и средств измерения параметров гидрогазодинамических процессов;
- изучение методов сбора, обработки и интерпретации экспериментальных данных с целью формирования выводов об эффективности и надежности предлагаемых конструкторских решений.

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-3 Способен к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	ИД-1 <sub>ПК-3</sub> Демонстрирует знание нормативов по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	знать: - теоретические, реально достижимые минимальные и практические уровни энергопотребления на технологические процессы.  уметь: - обрабатывать и интерпретировать результаты экспериментальных исследований гидрогазодинамических процессов, протекающих в элементах наукоемкого оборудования.
ПК-3 Способен к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	ИД-2 <sub>ПК-3</sub> Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	знать: - основные принципы моделирования, обеспечивающие гидромеханическое подобие потоков.  уметь: - прогнозировать снижение энергозатрат и материальных ресурсов на основе физического эксперимента.
ПК-4 Способен к обеспечению экологической безопасности систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	ИД-2 <sub>ПК-4</sub> Разрабатывает экозащитные мероприятия систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	знать: - методы и средства измерения параметров гидрогазодинамических процессов для проведения их экспериментальных исследований.  уметь: - проводить экспериментальные исследования гидрогазодинамических процессов.

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

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Энергообеспечение предприятий. Высокотемпературные процессы и установки (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

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 5 зачетных единиц, 180 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	Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов и методы их исследования	72	1	8	16	16	-	-	-	-	-	32	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Роль физического моделирования при изучении действующих и создании перспективных ВТУ. Методические основы физического моделирования"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Роль физического моделирования при изучении действующих и создании перспективных ВТУ. Методические основы физического моделирования"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Роль физического моделирования при изучении действующих и создании перспективных ВТУ. Методические основы физического моделирования" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 70-71 [3], 3-18 [5], 1-44 [6], 4-16 [7], 12-20</p>
1.1	Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов. Устройство газодинамических стендов	36		4	8	8	-	-	-	-	-	16	-	
1.2	Методы исследования течения газового потока в элементах энергетического оборудования	36		4	8	8	-	-	-	-	-	16	-	
2	Автоматизация сбора	72		8	16	16	-	-	-	-	-	32	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b>

	и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов													Повторение материала по разделу "Физическое моделирование внешнего радиационного теплообмена в реакторах ВТУ"
2.1	Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов	36	4	8	8	-	-	-	-	-	16	-	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Физическое моделирование движения газов в реакторах ВТУ"
2.2	Погрешности измерения параметров физических процессов	36	4	8	8	-	-	-	-	-	16	-	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Физическое моделирование движения газов в реакторах ВТУ" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 9-14 [4], 17-22 [8], 67-75
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5		
	Всего за семестр	180.0	16	32	32	-	2	-	-	0.5	64	33.5		
	Итого за семестр	180.0	16	32	32		2		-	0.5		97.5		

**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. Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов и методы их исследования

1.1. Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов. Устройство газодинамических стенов

Объекты экспериментального исследования. Газодинамические функции. Основные принципы моделирования, обеспечивающие гидромеханическое подобие потоков. Теоремы подобия. Режимы течения. Устройство экспериментальных стенов для проведения гидрогазодинамических исследований.

1.2. Методы исследования течения газового потока в элементах энергетического оборудования

Методы и средства измерений давлений потоков. Методы и средства измерений температур потоков. Методы и средства измерения средних и мгновенных скоростей. Методы и средства измерения поверхностного трения. Методы и средства визуализации течений.

#### 2. Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов

2.1. Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов

Основные понятия автоматизированного эксперимента. Сигналы в измерительной системе. Электронные компоненты измерительной системы. Подключение измерительной системы в ЭВМ. Автоматизированные комплексы сбора экспериментальных данных. Программное обеспечение систем автоматизации сбора и обработки экспериментальных данных.

2.2. Погрешности измерения параметров физических процессов

Погрешности средств измерений и результатов измерений. Методы вероятностного описания результатов измерений и их погрешностей. Математическое ожидание и дисперсия. Нормальный закон распределения случайных величин. Математическая обработка исправленных результатов измерений. Обработка результатов прямых и косвенных измерений.

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

1. Решение задач по моделированию процесса грануляции расплавов;
2. Использование теорем подобия при получении безразмерных параметров моделирования;
3. Решение задач по моделированию движения газов в реакторах ВТУ;
4. Решение задач по моделированию внешнего радиационного теплообмена в реакторах ВТУ;
5. Определение времени нагрева термически тонких тел методом физического моделирования;
6. Определение времени нагрева термически массивных тел методом физического моделирования;
7. Движение газов и материалов в реакторах с плотным, кипящим и взвешенным слоем;
8. Решение задач по моделированию процесса взаимодействия газовых потоков с расплавами;
9. Прогнозирование параметров перспективных промышленных реакторов методами

аффинного моделирования.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Экспериментально – расчетное прогнозирование параметров внешнего теплообмена промышленных теплотехнологических установок с излучающим факелом;
2. Исследование параметров «идеального» кипящего слоя на математической и физической моделях;
3. Определение длительности нагрева изделия в промышленной теплотехнологической установке методом физического моделирования (нагрев термически массивных тел);
4. Определение длительности нагрева изделия в промышленной теплотехнологической установке методом физического моделирования (нагрев термически тонких тел).

### **3.5 Консультации**

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

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Роль физического моделирования при изучении действующих и создании перспективных ВТУ. Методические основы физического моделирования."
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Физическое моделирование движения газов в реакторах ВТУ"

### **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>				
теоретические, реально достижимые минимальные и практические уровни энергопотребления на технологические процессы	ИД-1ПК-3	+		Контрольная работа/КМ-1. Определение параметров потока с помощью газодинамических функций
основные принципы моделирования, обеспечивающие гидромеханическое подобие потоков	ИД-2ПК-3	+		Контрольная работа/КМ-1. Определение параметров потока с помощью газодинамических функций
методы и средства измерения параметров гидрогазодинамических процессов для проведения их экспериментальных исследований	ИД-2ПК-4		+	Тестирование/КМ-6. Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов
<b>Уметь:</b>				
обрабатывать и интерпретировать результаты экспериментальных исследований гидрогазодинамических процессов, протекающих в элементах наукоемкого оборудования	ИД-1ПК-3	+	+	Лабораторная работа/КМ-2. Визуализация линий тока в жидкостях и газах Лабораторная работа/КМ-3. Сборка измерительной петли для определения давления, температуры в процессе эксперимента
прогнозировать снижение энергозатрат и материальных ресурсов на основе физического эксперимента	ИД-2ПК-3		+	Лабораторная работа/КМ-4. Экспериментальное исследование течений в типовых каналах арматуры
проводить экспериментальные исследования гидрогазодинамических процессов	ИД-2ПК-4		+	Лабораторная работа/КМ-5. Экспериментальное исследование системы охлаждения лопатки газовой турбины

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

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

#### **1 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. КМ-2. Визуализация линий тока в жидкостях и газах (Лабораторная работа)
2. КМ-3. Сборка измерительной петли для определения давления, температуры в процессе эксперимента (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-1. Определение параметров потока с помощью газодинамических функций (Контрольная работа)
2. КМ-6. Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов (Тестирование)

Форма реализации: Проверка задания

1. КМ-4. Экспериментальное исследование течений в типовых каналах арматуры (Лабораторная работа)
2. КМ-5. Экспериментальное исследование системы охлаждения лопатки газовой турбины (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

#### *Экзамен (Семестр №1)*

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

В диплом выставляется оценка за 1 семестр.

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

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

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

1. Теплоэнергетика и теплотехника : справочник : в 4 кн. / Общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин . – 4-е изд., стер . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . - ISBN 978-5-383-00015-1 .;
2. Кузьмин, В. Н. Оптимизация параметров вращающейся печи на математической модели : методическое пособие по курсам "Теплотехническая оптимизация высокотемпературных теплотехнических реакторов", "Математическое и физическое моделирование процессов в ВТУ" по направлению "Теплоэнергетика" / В. Н. Кузьмин, И. П. Морозов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2014 . – 32 с.;
3. Кузьмин, В. Н. Исследование процесса грануляции расплавов на математической модели. Лабораторная работа : методическое пособие по курсам "Теплотехническая оптимизация высокотемпературных теплотехнических реакторов" и др. / В. Н. Кузьмин, И. П. Морозов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 20 с.  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=6975;](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=6975)

4. Кузьмин, В. Н. Математическое и физическое моделирование процессов в высокотемпературных установках. Сборник лабораторных работ : по курсам "Математическое моделирование", "Физическое моделирование процессов в ВТУ" по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" / В. Н. Кузьмин, И. П. Морозов, А. Д. Ключников, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 31 с.  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8625](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8625);
5. Морозов, И. П. Моделирование процессов термической обработки материалов в среде VBA Excel : лабораторный практикум по курсу "Математическое моделирование" по направлению 13.04.01 "Теплоэнергетика и теплотехника" / И. П. Морозов, В. Н. Кузьмин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2017 . – 44 с. - ISBN 978-5-7046-1844-7 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=9218](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=9218);
6. Кузьмин, В. Н. Физическое моделирование процессов в ВТУ : задачник по магистерским программам "Энергетика теплотехнологии" и "Энергообеспечение предприятий. Высокотемпературные процессы и установки" / В. Н. Кузьмин, И. П. Морозов, Д. А. Николаев, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 60 с. - ISBN 978-5-7046-2045-7 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10433](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10433);
7. Кузьмин, В. Н. Теплотехническая оптимизация и физическое моделирование процессов в высокотемпературных теплотехнологических реакторах : задачник для студентов, обучающихся по магистерским программам "Энергетика теплотехнологии" и "Энергообеспечение предприятий. Высокотемпературные процессы и установки" / В. Н. Кузьмин, К. В. Строгонов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – Москва : Изд-во МЭИ, 2020 . – 60 с. - ISBN 978-5-7046-2267-3 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11217](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11217);
8. "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник" К. 4, (4-е изд., стереот.), Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2007 - (632 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72303](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72303).

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

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Horizon View;
5. Майнд Видеоконференции;
6. OpenVPN.

## **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 Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
	отсутствует	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Физическое моделирование процессов в ВТУ

(название дисциплины)

#### 1 семестр

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

- КМ-1 КМ-1. Определение параметров потока с помощью газодинамических функций (Контрольная работа)
- КМ-2 КМ-2. Визуализация линий тока в жидкостях и газах (Лабораторная работа)
- КМ-3 КМ-3. Сборка измерительной петли для определения давления, температуры в процессе эксперимента (Лабораторная работа)
- КМ-4 КМ-4. Экспериментальное исследование течений в типовых каналах арматуры (Лабораторная работа)
- КМ-5 КМ-5. Экспериментальное исследование системы охлаждения лопатки газовой турбины (Лабораторная работа)
- КМ-6 КМ-6. Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	2	4	6	8	10	14
1	Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов и методы их исследования							
1.1	Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов. Устройство газодинамических стендов		+					
1.2	Методы исследования течения газового потока в элементах энергетического оборудования			+	+			
2	Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов							
2.1	Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов			+	+	+	+	
2.2	Погрешности измерения параметров физических процессов					+	+	+
Вес КМ, %:			15	20	20	15	15	15