

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
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.07
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	2 семестр - 16 часов;
Практические занятия	2 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	2 семестр - 16 часов;
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

Москва 2020

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Строгонов К.В.
	Идентификатор	Rad748820-StrogonovKV-3f34a28f

(подпись)

К.В. Строгонов

(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 проведения экспериментальных исследований и теплотехнических испытаний высокотемпературных теплотехнологических установок, а также методов измерения температуры высокотемпературных газов, плотности падающего теплового потока и теплового потока через ограждения ВТУ, запыленности отходящих продуктов сгорания из рабочих технологических камер и т.д

Задачи дисциплины

- Подготовить студентов к постановке экспериментальных исследований и теплотехнических испытаний ВТУ;
- Подготовить студентов к проведению экспериментальных исследований и теплотехнических испытаний ВТУ, обработке и обобщению полученных результатов;
- Обучить студентов навыкам работы с современной измерительной аппаратурой;
- Обучить современным математическими методами планирования эксперимента.

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 _{ПК-3} Демонстрирует знание нормативов по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	знать: - средства позволяющие автоматизировать и измерять основные теплотехнические параметры объектов и методы моделирования работы высокотемпературных установок. уметь: - пользоваться средствами измерений таких величин, как температура, давление, тепловые потоки, планировать и выполнять моделирование высокотемпературных установок.
ПК-3 Способен к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	ИД-2 _{ПК-3} Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	знать: - методы постановки задач на исследования теплотехнических объектов. уметь: - выполнять балансные расчёты при постановке задач на исследование теплотехнических объектов.

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.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать методики теории горения топлив
- уметь считать материальные и тепловые балансы

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	Виды исследований и постановка задачи исследований	20.8	2	4	-	2	-	-	-	-	-	14.8	-	<p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Виды исследований и постановка задачи исследований и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Виды исследований и постановка задачи исследований" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Виды исследований и постановка задачи исследований"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 378 [2], 273-282 [3], 7-19; 34-37 [4], 14-31 [5], 35-48</p>	
1.1	Виды и задачи исследований	5		1	-	-	-	-	-	-	-	4	-		
1.2	Классификация теплотехнических исследований	4.3		1	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3		-
1.3	Постановка задач перед исследованиями	5		1	-	-	-	-	-	-	-	-	4		-
1.4	Физическое моделирование как метод теплотехнических исследований	6.5		1	-	2	-	-	-	-	-	-	3.5		-
2	Планирование физических исследований	19.5	2	3	2	4	-	-	-	-	-	10.5	-	<p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Повторение материала по разделу "Планирование физических исследований"</p> <p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и</p>	
2.1	Планирование эксперимента. Параметры	6		1	-	2	-	-	-	-	-	-	3		-

												<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 141-156 [5], 69-76 [6], 16-29; 283-289 [8], 1-24 [9], 35	
4	Средства для теплотехнических исследований	48.7	6	10	8	-	-	-	-	-	24.7	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Средства для теплотехнических исследований" материалу. <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Средства для теплотехнических исследований и подготовка к контрольной работе <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Средства для теплотехнических исследований" <u>Изучение материалов литературных источников:</u>
4.1	Температура материалов. Средства для измерений	7	1	1	1	-	-	-	-	-	4	-	
4.2	Температура газов. Средства для измерений	9.5	1	4	1	-	-	-	-	-	3.5	-	
4.3	Тепловые потоки. Средства для измерений	11	1	4	2	-	-	-	-	-	4	-	
4.4	Запылённость газов. Средства для измерений	6.5	1	-	2	-	-	-	-	-	3.5	-	
4.5	Давление и расход. Средства для измерений	7	1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
4.6	Газоанализаторы как средства в теплотехнических исследованиях	7.7	1	1	-	-	-	-	-	-	5.7	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	16	16	16	-	2	-	-	0.5	60.0	33.5	
	Итого за семестр	144.0	16	16	16		2		-	0.5		93.5	

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. Виды исследований и постановка задачи исследований

1.1. Виды и задачи исследований

Предмет курса и его задачи. Значение экспериментальных исследований. Особенности научного лабораторного эксперимента и промышленных испытаний ВТУ. Основные этапы проведения экспериментальных исследований и теплотехнических испытаний.

1.2. Классификация теплотехнических исследований

Подготовка к экспериментальным исследованиям и теплотехническим испытаниям ВТУ и их методическое обеспечение. Промышленные теплотехнические испытания и их основные отличия от лабораторных экспериментальных исследований.

1.3. Постановка задач перед исследованиями

Принципы выдвижения гипотез, последовательность балансных расчётов, оценочные расчёты ожидаемых эффектов на примере металлургического комплекса.

1.4. Физическое моделирование как метод теплотехнических исследований

Физическое моделирование, этапы планирования, изготовления модельных установок, проведение экспериментов на примере непрерывной разливки металлов.

2. Планирование физических исследований

2.1. Планирование эксперимента. Параметры оптимизации

Планирование эксперимента и его задачи. Объект исследования. Факторы. Функция отклика. Поверхность отклика. Параметры оптимизации и их классификация. Требования к параметру оптимизации. Сокращение числа выходных параметров. Обобщенные параметры оптимизации. Факторы и требования к ним.

2.2. Полный и дробный факторный эксперимент

Выбор математической модели исследования и требования к ней. Полный факторный эксперимент. Выбор основного уровня и интервалов варьирования. Полный факторный эксперимент типа 2^k . Свойства матрицы полного факторного эксперимента. Взаимодействие факторов. Методы сокращения числа опытов. Выбор полуреплик. Генерирующие соотношения и определяющие контрасты.

2.3. Классификация и ОЦКП (ортогональное центральное композиционное планирование)

Классификация методов планирования эксперимента. Планы регрессивного анализа. Планы эксперсионного анализа. Экстремальные планы. Планы эксперимента для получения динамических моделей. Планирование промышленного эксперимента. Планы отсеивающих экспериментов. Экстраполяционные планы. Ортогональное центральное композиционное планирование. Построение матрицы ОЦКП. Ортогонализация столбцов матрицы ОЦКП.

3. Проведение исследований

3.1. Математическое моделирование как метод теплотехнических исследований

Определение математического моделирование, цели и задачи при математическом моделировании. Этапы проведения математического моделирования. Классификация математических моделей.

3.2. Программные продукты для математического моделирования

Программные комплексы применяемые при математическом моделировании высокотемпературных процессов и установок. Примеры реализации математического моделирования в ASPEN, ANSYS и др.

3.3. Обработка результатов исследований

Подготовка журналов наблюдений, отчётов по результатам исследований на примере научно-исследовательских и лабораторных работ.

4. Средства для теплотехнических исследований

4.1. Температура материалов. Средства для измерений

Понятие температуры. Основные правила измерения температуры твердых тел при помощи термопар. Виды конструктивных исполнений термопар.

4.2. Температура газов. Средства для измерений

Погрешности измерения газового потока при помощи термопар и способы их снижения. Измерение температуры газов с помощью аспирационных пирометров. Термопары с обогреваемым рабочим концом. Двухспайные термопары. Термодинамические пирометры.

4.3. Тепловые потоки. Средства для измерений

Энтальпийный метод и метод теплового сопротивления для измерения тепловых потоков. Стационарные и переносные калориметры. Термозонды различного исполнения.

4.4. Запылённость газов. Средства для измерений

Измерение составов газов, методы отбора проб газов, газозаборные трубки, аспираторы. Измерение запыленности газовых потоков. Пылезаборная аппаратура. Методы внешней и внутренней фильтрации газов. Исследование гранулометрического состава уносов из рабочих камер ВТУ.

4.5. Давление и расход. Средства для измерений

Измерение давления и расходов. Аппаратура и приборы.

4.6. Газоанализаторы как средства в теплотехнических исследованиях

Виды газоанализаторов, условия применения.

3.3. Темы практических занятий

1. Полный и дробный факторный эксперимент;
2. Запылённость газов;
3. Температура материалов и газов;
4. Давление и расход;
5. Тепловые потоки;
6. Физическое моделирование как метод теплотехнических исследований;
7. Планирование эксперимента.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Оптимизация внешнего теплообмена в печи с излучающим факелом с применением теории планирования эксперимента;
2. Сравнительный анализ методов измерения теплового потока через ограждения

- рабочей камеры теплотехнологической установки;
3. Экспериментальное исследование поля концентрации в потоке продуктов сгорания топлива;
 4. Сравнительный анализ методов измерения температуры газового потока.

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Виды исследований и постановка задачи исследований"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Планирование физических исследований"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Проведение исследований"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Средства для теплотехнических исследований"

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	
Знать:						
средства позволяющие автоматизировать и измерять основные теплотехнические параметры объектов и методы моделирования работы высокотемпературных установок	ИД-1ПК-3			+	+	Контрольная работа/Средства для теплотехнических исследований (давление, расход, запылённость, состав газов) Контрольная работа/Теплотехнические исследования, средства для измерения температур
методы постановки задач на исследования теплотехнических объектов	ИД-2ПК-3	+	+	+		Контрольная работа/Методы моделирования работы высокотемпературных установок Контрольная работа/Методы постановки задач на исследования теплотехнических объектов
Уметь:						
пользоваться средствами измерений таких величин, как температура давление, тепловые потоки, планировать и выполнять моделирование высокотемпературных установок	ИД-1ПК-3	+		+	+	Лабораторная работа/Защита лабораторных работ
выполнять балансные расчёты при постановке задач на исследование теплотехнических объектов	ИД-2ПК-3	+	+	+		Лабораторная работа/Защита лабораторных работ

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. Методы моделирования работы высокотемпературных установок (Контрольная работа)
2. Методы постановки задач на исследования теплотехнических объектов (Контрольная работа)
3. Средства для теплотехнических исследований (давление, расход, запылённость, состав газов) (Контрольная работа)
4. Теплотехнические исследования, средства для измерения температур (Контрольная работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Защита лабораторных работ (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

С учётом средне семестровой составляющей

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. Теплоэнергетика и теплотехника. Кн.2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент : справочник / Общ. ред. В. А. Григорьев, В. М. Зорин . – 2-е изд., перераб . – М. : Энергоатомиздат, 1988 . – 560 с.;
2. Лисиенко, В. Г. Хрестоматия энергосбережения. В 2 кн. Кн.2. : справочник / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев . – М. : Теплотехник, 2005 . – 768 с. - ISBN 5-9845703-4-3 .;
3. Попов, С. К. Анализ тепловых схем теплотехнологических установок. Сборник расчетных заданий : учебно-методическое пособие по дисциплине "Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки" по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" / С. К. Попов, П. А. Стогов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 68 с.
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8719;](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8719)
4. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Наука, 1976 . – 279 с.;

5. Теплоэнергетика и теплотехника: Кн.4. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника [посвящ. 75-летию МЭИ] : справочник / Б. Г. Борисов, и др. ; Общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин . – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Изд-во МЭИ, 2004 . – 632 с. - ISBN 5-7046-0514-1 ;
6. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) : Учебное пособие для электроэнергетических специальностей вузов / В. А. Веников . – 2-е изд., доп. и перераб . – М. : Высшая школа, 1976 . – 479 с.;
7. Соколов, Б. А. Исследование работы высокотемпературной теплотехнологической установки. Лабораторные работы : методическое пособие по курсу "Методы и техника эксперимента" по направлению "Теплоэнергетика" / Б. А. Соколов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 27 с.;
8. Троянкин, Ю. В. Исследование характеристик газового потока. Лабораторные работы : методическое пособие по курсу "Методы и техника эксперимента" по направлению "Теплоэнергетика" / Ю. В. Троянкин ; Ред. Б. А. Соколов ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 24 с.;
9. О. В. Боруш, О. К. Григорьева- "Общая энергетика: энергетические установки", Издательство: "Новосибирский государственный технический университет", Новосибирск, 2017 - (96 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574637>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

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

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
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. Патентная база Orbit Intelligence компании Questel - <https://www.orbit.com/>
12. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
13. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru; http://docs.cntd.ru/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
	отсутствует	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Методы и средства теплотехнических исследований

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Методы постановки задач на исследования теплотехнических объектов (Контрольная работа)
- КМ-2 Методы моделирования работы высокотемпературных установок (Контрольная работа)
- КМ-3 Теплотехнические исследования, средства для измерения температур (Контрольная работа)
- КМ-4 Средства для теплотехнических исследований (давление, расход, запылённость, состав газов) (Контрольная работа)
- КМ-5 Защита лабораторных работ (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	12	15	16
1	Виды исследований и постановка задачи исследований						
1.1	Виды и задачи исследований						+
1.2	Классификация теплотехнических исследований		+	+			
1.3	Постановка задач перед исследованиями		+	+			
1.4	Физическое моделирование как метод теплотехнических исследований						+
2	Планирование физических исследований						
2.1	Планирование эксперимента. Параметры оптимизации		+	+			+
2.2	Полный и дробный факторный эксперимент		+	+			
2.3	Классификация и ОЦКП (ортогональное центральное композиционное планирование)		+	+			
3	Проведение исследований						
3.1	Математическое моделирование как метод теплотехнических исследований				+	+	
3.2	Программные продукты для математического моделирования		+	+			
3.3	Обработка результатов исследований						+

4	Средства для теплотехнических исследований					
4.1	Температура материалов. Средства для измерений					+
4.2	Температура газов. Средства для измерений			+	+	
4.3	Тепловые потоки. Средства для измерений					+
4.4	Запылённость газов. Средства для измерений			+	+	
4.5	Давление и расход. Средства для измерений			+	+	
4.6	Газоанализаторы как средства в теплотехнических исследованиях			+	+	
Вес КМ, %:		20	20	20	20	20