

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

Направление подготовки/специальность: 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Котлы, камеры сгорания и парогенераторы АЭС

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ФИЗИКА ГОРЕНИЯ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.03
Трудоемкость в зачетных единицах:	6 семестр - 6;
Часов (всего) по учебному плану:	216 часов
Лекции	6 семестр - 28 часа;
Практические занятия	6 семестр - 28 часа;
Лабораторные работы	6 семестр - 28 часа;
Консультации	6 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	6 семестр - 129,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Коллоквиум Тестирование	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	6 семестр - 0,5 часа;

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Двойнишников В.А.
	Идентификатор	R0428fab5-DvoynishnikVA-5932e8f

В.А.
Двойнишников

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Плешанов К.А.
	Идентификатор	R002eb276-PleshanovKA-9092810

К.А. Плешанов

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Плешанов К.А.
	Идентификатор	R002eb276-PleshanovKA-9092810

К.А. Плешанов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: формирование знаний в области теории горения энергетических топлив и принципов организации их сжигания в энергетических устройствах.

Задачи дисциплины

- формирование представления о горении топлива как о совокупности физико-химических процессов, которые должны рассматриваться с позиций надежности, экономичности и экологичности работы энергетического устройства;

- развитие умения способности анализировать физические и химические процессы, протекающие при сжигании топлив в котлах и камерах сгорания, выделять определяющие факторы их протекания;

- приобретение практических навыков расчета закономерностей и количественных характеристик процесса горения газообразного, жидкого и твердого топлив;

- использование полученных знаний и умений при разработке технологии сжигания топлив.

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 принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения	ИД-1 _{ПК-2} Демонстрирует понимание взаимного влияния условий работы отдельных элементов объектов профессиональной деятельности	знать: - – аспекты топливной проблемы в энергетике, классификацию состав и свойства энергетических топлив, способы пересчёта состава топлива с одной массы на другую, расчета состава и характеристик продуктов горения, принципы организации способов сжигания топлива в котлах и камерах сгорания. уметь: - – разбираться в технологиях и процессах сжигания различных видов топлива, конструкции горелок, способах стабилизации горения топлива, анализировать и схематизировать процесс горения.
ПК-2 Способен принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения	ИД-4 _{ПК-2} Демонстрирует знание закономерностей процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности	знать: - – специфику процесса горения газообразного, жидкого и твёрдого топлива при факельном сжигании, способы обеспечения устойчивости горения и влияние зернового состава пыли твёрдого топлива на динамику его горения; - – общие законы химических реакций и физических процессов при горении, математическое описание этих процессов, численного расчета и моделирования.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		уметь: - – пользоваться компьютерными программами расчета состава и характеристик продуктов горения и общими законами химического реагирования при освоении математического описания горения с целью получения количественных характеристик.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Котлы, камеры сгорания и парогенераторы АЭС (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, 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 6 зачетных единиц, 216 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	Источники и технологии получения теплоты в энергетических установках	4	6	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "1.Источники и технологии получения теплоты в энергетических установках" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 16–24	
1.1	Источники и технологии получения теплоты в энергетических установках	4		2	-	-	-	-	-	-	-	2	-		
2	Процесс горения энергетического топлива. Его материальный и тепловой балансы	22		4	-	8	-	-	-	-	-	-	10	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Процесс горения энергетического топлива. Его материальный и тепловой балансы" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 7, 8, 13, 48–55, 128–130 [3], 22-27, 41
2.1	Процесс горения энергетического топлива. Его материальный и тепловой балансы	22		4	-	8	-	-	-	-	-	-	10	-	
3	Кинетика реакций горения	32		6	4	2	-	-	-	-	-	-	20	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Кинетика реакций горения" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 8-16, 21-23 [2], 97-103, 107-122
3.1	Кинетика реакций горения	32		6	4	2	-	-	-	-	-	-	20	-	

													[4], 32-35	
4	Горение газового топлива	28	4	-	6	-	-	-	-	-	-	18	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Горение газового топлива" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 25-40, 73-78, 88-102 [2], 128-161
4.1	Горение газового топлива	28	4	-	6	-	-	-	-	-	-	18	-	
5	Вынужденное воспламенение и стабилизация пламени	12	6	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Вынужденное воспламенение и стабилизация пламени" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 102-109
5.1	Вынужденное воспламенение и стабилизация пламени	12	6	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	
6	Горение жидкого и твердого топлива	82	6	24	12	-	-	-	-	-	-	40	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Горение жидкого и твердого топлива" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 109-130, 131-159 [2], 161-208, 238-258
6.1	Горение жидкого и твердого топлива	82	6	24	12	-	-	-	-	-	-	40	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	-	33.5	
	Всего за семестр	216.0	28	28	28	-	2	-	-	0.5	96	-	33.5	
	Итого за семестр	216.0	28	28	28		2		-	0.5		129.5		

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. Источники и технологии получения теплоты в энергетических установках

1.1. Источники и технологии получения теплоты в энергетических установках

Классификация источников и технологий получения теплоты. Топливо. Теплоноситель и рабочее тело. Устройства энергетических установок для производства теплоты из топлива. Общая характеристика и классификация физических и химических процессов получения теплоты..

2. Процесс горения энергетического топлива. Его материальный и тепловой балансы

2.1. Процесс горения энергетического топлива. Его материальный и тепловой балансы

Общая характеристика, классификация и состав энергетического топлива. Теплота сгорания. Теоретически необходимое количество воздуха для горения. Гомогенное и гетерогенное горение. Продукты сгорания. Их состав и энтальпия. Адиабатическая температура горения. Ее расчет. Термическая диссоциация. Расчет теоретической температуры горения..

3. Кинетика реакций горения

3.1. Кинетика реакций горения

Скорость и порядок реакции. Влияние начальных условий на скорость реакции. Закон действующих масс. Закон Аррениуса. Энергия активации. Взаимосвязь между кинетическими константами. Цепные реакции. Механизм и количественные соотношения их протекания..

4. Горение газового топлива

4.1. Горение газового топлива

Стационарная и нестационарная теория теплового взрыва газовых смесей Н.Н. Семенова. Температура самовоспламенения. Период индукции. Границы самовоспламенения газовых смесей. Распространение пламени в горючей смеси. Нормальная скорость распространения пламени в ламинарном потоке. Горение в бунзеновской горелке. Уравнение нормального распространения пламени. Его решение. Распространение пламени в турбулентном потоке. Особенности и количественные характеристики турбулентного движения. Поверхностная, объемная и микрообъемная модели турбулентного горения. Диффузионное ламинарное и турбулентное горение. Структура факела. Положение фронта горения..

5. Вынужденное воспламенение и стабилизация пламени

5.1. Вынужденное воспламенение и стабилизация пламени

Физическая сущность вынужденного воспламенения. Способы реализации. Температура зажигания. Зажигание гомогенной смеси от нагретой стенки. Устойчивость горения. Стабилизация. Физическая природа естественной стабилизации горения в затопленной струе. Искусственная стабилизация. Способы ее реализации и их физическая сущность. Особенности стабилизации зажигания в топках котлов..

6. Горение жидкого и твердого топлива

6.1. Горение жидкого и твердого топлива

Горение жидких топлив со свободной поверхностью. Горение капли жидкого топлива. Физическая картина процесса и его схематизация. Равновесная температура испарения. Расчет времени испарения. Пути интенсификации сжигания жидких топлив. Процесс горения частиц твердого топлива. Прогрев. Выход и горение летучих частиц твердого топлива. Механизм выгорания частиц углерода коксовой частицы. Режимы горения. Формула скорости горения. Закономерности процесса горения коксовой частицы на базе стационарной теории. Пути интенсификации горения частиц твердого топлива..

3.3. Темы практических занятий

1. Основные характеристики энергетического топлива (2 часа).;
2. Пересчет элементарного состава одной массы топлива в другую (4 часа).;
3. Расчет теплоты сгорания топлив и их смесей (4 часа).;
4. Определение теоретического расхода окислителя по составу топлива и окислителя (4 часа).;
5. Определение состава и объема продуктов горения органического топлива (6 часа).;
6. Расчет энтальпий продуктов горения и адиабатической температуры горения (4 часа).;
7. Методы расчета горения пыли твердого топлива при факельном сжигании и в кипящем слое (4 часа)..

3.4. Темы лабораторных работ

1. №1. Исследование влияния коэффициента избытка окислителя, состава окислителя и его начальной температуры на величину адиабатной температуры горения и на состав и энтальпию продуктов сгорания при сжигании Кузнецкого и Артемовского угля (16 часов);
2. №2. Исследование характеристик угольной пыли и закономерностей диффузионного горения полидисперсной пыли Экибастузского угля (12 часов)..

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Консультации направлены на подготовку к контрольному мероприятию по разделу "Источники и технологии получения теплоты в энергетических установках"
2. Консультации направлены на подготовку к контрольному мероприятию по разделу "Процесс горения энергетического топлива. Его материальный и тепловой балансы"
3. Консультации направлены на подготовку к контрольному мероприятию по разделу "Кинетика реакций горения"
4. Консультации направлены на подготовку к контрольному мероприятию по разделу "Горение газового топлива"
5. Консультации направлены на подготовку к контрольному мероприятию по разделу "Вынужденное воспламенение и стабилизация пламени"
6. Консультации направлены на подготовку к контрольному мероприятию по разделу "Горение жидкого и твердого топлива"

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	5	6	
Знать:								
– аспекты топливной проблемы в энергетике, классификацию состав и свойства энергетических топлив, способы пересчёта состава топлива с одной массы на другую, расчета состава и характеристик продуктов горения, принципы организации способов сжигания топлива в котлах и камерах сгорания	ИД-1ПК-2	+						Контрольная работа/Энергетическое топливо и продукты сгорания
– общие законы химических реакций и физических процессов при горении, математическое описание этих процессов, численного расчета и моделирования	ИД-4ПК-2		+	+				Контрольная работа/Процесс горения энергетического топлива. Его материальный и тепловой балансы. Кинетика реакций горения
– специфику процесса горения газообразного, жидкого и твёрдого топлива при факельном сжигании, способы обеспечения устойчивости горения и влияние зернового состава пыли твёрдого топлива на динамику его горения	ИД-4ПК-2				+	+	+	Контрольная работа/Горение газового топлива. Вынужденное воспламенение и стабилизация пламени Тестирование/Горение газообразного жидкого и твердого топлива
Уметь:								
– разбираться в технологиях и процессах сжигания различных видов топлива, конструкции горелок, способах стабилизации горения топлива, анализировать и схематизировать процесс горения	ИД-1ПК-2				+		+	Коллоквиум/Защита лабораторной работы №2 «Исследование характеристик угольной пыли и закономерно-стей диффузионного горения полидисперсной пыли»
– пользоваться компьютерными программами расчета состава и характеристик продуктов горения и общими законами химического реагирования при освоении математического	ИД-4ПК-2		+				+	Коллоквиум/Защита лабораторной работы №1 «Исследование влияния коэффициента избытка окислителя, состава окислителя и его начальной температуры на величину адиабатной

описания горения с целью получения количественных характеристик								температуры горения и на состав и энтальпию продуктов сгорания при сжигании угля»
--	--	--	--	--	--	--	--	--

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

6 семестр

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Горение газового топлива. Вынужденное воспламенение и стабилизация пламени (Контрольная работа)
2. Процесс горения энергетического топлива. Его материальный и тепловой балансы. Кинетика реакций горения (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Горение газообразного жидкого и твердого топлива (Тестирование)
2. Энергетическое топливо и продукты сгорания (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Защита лабораторной работы №1 «Исследование влияния коэффициента избытка окислителя, состава окислителя и его начальной температуры на величину адиабатной температуры горения и на состав и энтальпию продуктов сгорания при сжигании угля» (Коллоквиум)
2. Защита лабораторной работы №2 «Исследование характеристик угольной пыли и закономерно-стей диффузионного горения полидисперсной пыли» (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №6)

В диплом выставляется оценка за 6 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Хзмалян, Д. М. Теория топочных процессов : учебное пособие для вузов по специальности "Котло- и реакторостроение" / Д. М. Хзмалян . – М. : Энергоатомиздат, 1990 . – 352 с. - ISBN 5-283-00063-X .;
2. Основы практической теории горения : учебное пособие для энергетических специальностей вузов / В. В. Померанцев, и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергоатомиздат, 1986 . – 312 с.;
3. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / и др., М-во тяжелого, энерг. и трансп. машиностроения СССР ; Ред. Н. В. Кузнецов . – 2-е изд., перераб. – М. : Энергия, 1973 . – 296 с.;
4. Коломиец П. В.- "Расчёт горения топлива", Издательство: "ТГУ", Тольятти, 2011 - (38 с.) <https://e.lanbook.com/book/140301>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Acrobat Reader;
2. Boiler Designer.

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 журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Д-318, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	В-402/1, Компьютерный класс, мультимедийная учебная лаборатория каф. МиПЭУ (отд. ПГС)	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, колонки, компьютер персональный, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	В-402/1, Компьютерный класс, мультимедийная учебная лаборатория каф. МиПЭУ (отд. ПГС)	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, колонки, компьютер персональный, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	В-402/1, Компьютерный класс, мультимедийная учебная лаборатория каф. МиПЭУ (отд. ПГС)	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, колонки, компьютер персональный, учебно-наглядное пособие
Помещения для самостоятельной работы	Д-323, Помещение каф. МиПЭУ	стол, стул, шкаф
Помещения для консультирования	Д-320, Кабинет сотрудников каф. "МиПЭУ"	рабочее место сотрудника, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Д-305, Склад кафедры МиПЭУ	стул, шкаф

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Физика горения

(название дисциплины)

6 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Энергетическое топливо и продукты сгорания (Контрольная работа)
- КМ-2 Процесс горения энергетического топлива. Его материальный и тепловой балансы. Кинетика реакций горения (Контрольная работа)
- КМ-3 Горение газового топлива. Вынужденное воспламенение и стабилизация пламени (Контрольная работа)
- КМ-4 Защита лабораторной работы №1 «Исследование влияния коэффициента избытка окислителя, состава окислителя и его начальной температуры на величину адиабатной температуры горения и на состав и энтальпию продуктов сгорания при сжигании угля» (Коллоквиум)
- КМ-5 Защита лабораторной работы №2 «Исследование характеристик угольной пыли и закономерностей диффузионного горения полидисперсной пыли» (Коллоквиум)
- КМ-6 Горение газообразного жидкого и твердого топлива (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:	4	8	10	11	12	13
1	Источники и технологии получения теплоты в энергетических установках							
1.1	Источники и технологии получения теплоты в энергетических установках		+					
2	Процесс горения энергетического топлива. Его материальный и тепловой балансы							
2.1	Процесс горения энергетического топлива. Его материальный и тепловой балансы			+		+		
3	Кинетика реакций горения							
3.1	Кинетика реакций горения			+				
4	Горение газового топлива							
4.1	Горение газового топлива				+		+	+
5	Вынужденное воспламенение и стабилизация пламени							
5.1	Вынужденное воспламенение и стабилизация пламени				+			+
6	Горение жидкого и твердого топлива							

6.1	Горение жидкого и твердого топлива			+	+	+	+
	Вес КМ, %:	17	17	17	16	16	17